



# **VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## **FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## **ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## **MIKROKLIMA BAZÉNOVÝCH HAL**

INDOOR ENVIRONMENT OF POOL HALLS

### **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

#### **AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Ondřej Halla**

#### **VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.**

**BRNO 2019**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3608T001 Pozemní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav technických zařízení budov

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Ondřej Halla
<b>Název</b>	Mikroklima bazénových hal
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

---

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

### **A. Analýza tématu, cíle a metody řešení**

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

### **B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení**

Návrh technického řešení ve 2 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, VZT) v zadané budově

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

### **C. Experimentální řešení a zpracování výsledků**

## **STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá problematikou vnitřního mikroklimatu bazénových hal. Popisuje úskalí a zásady návrhu vzduchotechnického systému v prostorách se zvýšenou produkcí vlhkosti. Detailněji se zaměřuje na metody stanovení odparu z vodní hladiny, způsob odvodu vlhkosti a s tím spojený návrh vzduchotechnické jednotky. Tyto poznatky byly aplikovány na konkrétní budově, pro níž byly navrženy dvě varianty řešení vzduchotechnického zařízení. Experimentální část měla za cíl vyhodnocení jedné kritické části bazénové haly, tedy průplavu z interiéru do exteriéru. Na základě provedeného místního šetření a dlouhodobého měření v bazénové hale bylo navrženo několik možných řešení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Bazén, bazénová hala, mikroklima, vzduchotechnika, vzduchotechnická jednotka, nucené větrání, klimatizace, distribuce vzduchu, odpar z hladiny, odvlhčování vzduchu

## **PREFACE**

The diploma thesis deals with the problems of the indoor environment of swimming pool halls. Firstly, it describes issues and principles of designing HVAC system in the areas with high humidity production. Thesis then focuses on various approaches to calculations of evaporation from the water surface and different possibilities of dehumidification including different types of HVAC units. This knowledge was applied to the design of HVAC system for particular assigned building, for which are proposed two different solutions. Thesis includes experimental part, its aim is to analyse one specific critical part of the hall. Based on local surveying and long-term measurements a few possibilities of improvement are suggested.

## **KEY WORDS**

Swimming pool, indoor pool hall, indoor environment, HVAC system, air handling unit, mechanical ventilation, air-conditioning, air distribution, evaporation from the water surface, air dehumidification

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Ondřej Halla *Mikroklima bazénových hal*. Brno, 2019. 89 s., 32 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Mikroklima bazénových hal* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

.....  
Bc. Ondřej Halla  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Mikroklima bazénových hal* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

.....  
Bc. Ondřej Halla  
autor práce

# **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucí mé diplomové práce, paní Ing. Olze Rubinové, Ph.D. za ochotu a odbornou pomoc poskytnutou při zpracování této práce.

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ .....</b>	<b>11</b>
A.1 MIKROKLIMA BAZÉNOVÝCH HAL.....	11
A.2 POŽADAVKY NA VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ DLE PRÁVNÍCH PŘEDPISŮ.....	11
A.3 VOLBA NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ .....	13
A.4 ODPAR.....	14
A.5 PRŮTOK VZDUCHU V ZÁVISLOSTI NA VLHKOSTI VZDUCHU V INTERIÉRU .....	17
A.6 TRICHLORAMIN .....	19
A.7 DISTRIBUCE VZDUCHU .....	19
A.8 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VĚTRÁNÍ BAZÉNOVÝCH HAL .....	20
A.9 MĚŘÍCÍ TECHNIKA.....	23
<b>B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ .....</b>	<b>26</b>
B.1 ÚVOD.....	26
B.1.1 POPIS OBJEKTU .....	26
B.1.2 ANALÝZA BUDOVY A ROZDĚLENÍ NA FUNKČNÍ CELKY .....	26
B.2 TEPELNĚ VLHKOSTNÍ BILANCE .....	30
B.2.1 NÁVRHOVÉ PARAMETRY.....	30
B.2.2 TEPELNÉ ZISKY.....	31
B.2.3 TEPELNÉ ZTRÁTY .....	39
B.2.4 VÝPOČET PRODUKCE VLHKOSTI .....	40
B.3 NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY .....	42
B.3.1 VARIANTA Č. 1.....	42
B.3.2 VARIANTA Č. 2.....	48
B.3.3 POROVNÁNÍ VARIANT .....	51
B.3.4 TECHNICKÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ.....	52
B.4 DISTRIBUCE VZDUCHU .....	55
B.5 TECHNICKÁ ZPRÁVA .....	59
<b>C. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ .....</b>	<b>66</b>
C.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....	66
C.2 ŠETŘENÍ KRITICKÉHO MÍSTA V OKOLÍ PRŮPLAVU .....	68
C.2.1 TEPLOTNÍ A RYCHLOSTNÍ PROFIL VZDUCHU V PRŮŘEZU PRŮPLAVU.....	70
C.2.2 PROUDĚNÍ VODY DIVOKÉ ŘEKY, OTEVÍRÁNÍ LAMEL V PRŮPLAVU .....	71
C.2.3 TEPLOTNÍ MIKROKLIMA V REKREAČNÍM BAZÉNU.....	72
C.2.4 TERMOVIZNÍ MĚŘENÍ.....	75
C.3 DLOUHODOBÁ MĚŘENÍ .....	77
C.3.1 ÚVOD .....	77
C.3.2 VYHODNOCENÍ DLOUHODOBÉHO MĚŘENÍ.....	78



C.3.2.1	V OKOLÍ PRŮPLAVU .....	78
C.3.2.2	BAZÉNOVÁ HALA.....	80
C.4	NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ, ZÁVĚR.....	83
<b>ZÁVĚR.....</b>		<b>84</b>
<b>POUŽITÉ ZDROJE .....</b>		<b>85</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ .....</b>		<b>87</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>		<b>89</b>

## ÚVOD

V této diplomové práci se zaměřuji na problematiku tvorby optimálního mikroklimatu bazénových hal. Práce se skládá ze tří částí. V první části provedu analýzu tématu, uvedu časté problémy při návrhu vzduchotechnického systému a možnosti jim předejít. Rozeberu požadavky dané českou vyhláškou a provedu porovnání požadavků s německou normou.

Detailněji se zaměřím na metody stanovení odparu z vodních ploch bazénů a jeho závislosti na vlhkosti v místnosti, což hraje zásadní roli při pozdějším návrhu vzduchotechnického systému. Zmíním různé technické možnosti odvodu vlhkosti z objektu a s tím spojené různé typy vzduchotechnických jednotek používaných v tomto prostředí.

V druhé části jsou poznatky nabyté v rešerši aplikovány na zadané budově. Navrhnou dvě varianty technického řešení a pro zvolenou variantu vypracuji projekt vzduchotechniky na úrovni projektové dokumentace pro stavební povolení.

V experimentální části práce vyhodnotím jednu kritickou část bazénové haly. Jedná se o průplavu z interiéru do exteriéru. Toto měření proběhlo ve Wellness centru Bruntál, a vzešlo ze stížností návštěvníků právě na neuspokojivé podmínky vnitřního mikroklima. Na základě provedeného místního šetření a dlouhodobého měření v bazénové hale provedu posouzení a navrhnou několik možných řešení.

## A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

### A.1 Mikroklima bazénových hal

K zajištění optimálního mikroklima bazénových hal je potřebné dosáhnout požadované teploty a vlhkosti vnitřního vzduchu a rovněž zajistit odvod nebezpečných látek z prostoru hladiny bazénu. Důvodem je zejména ochrana zdraví návštěvníků a zajištění jejich tepelného komfortu. Neméně důležitým faktorem je ochrana stavebních konstrukcí.

Pro splnění těchto požadavků se málokdy objekt obejde bez návrhu vzduchotechnického zařízení, a to již u menších soukromých bazénů. V tomto návrhu je zásadní odvod produkce vlhkosti. Vysoká vlhkost je jednak nepříjemná pro pobyt lidí (dusno), ale je rovněž příčinou vzniku kondenzace, problémů s plísněmi, potažmo vede až k degradaci stavebních konstrukcí. Existují různé technické řešení pro eliminaci vlhkostní zátěže, každá z nich vhodná pro aplikaci v odlišných typech provozů.

### A.2 Požadavky na vnitřní prostředí dle právních předpisů

V současnosti existuje pouze jediná vyhláška, která stanovuje hygienické požadavky na koupaliště, ve které se nachází i požadavky na vnitřní mikroklima. Tou je *Vyhláška č. 238/2011 Sb., O stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.*

#### **§ 33 Požadavky na mikroklimatické podmínky, osvětlení a vnitřní ovzduší bazénové haly**

**(1)** Požadavky na **mikroklimatické podmínky**, osvětlení a vnitřní ovzduší bazénové haly krytých koupališť jsou uvedeny v příloze č. 12 k této vyhlášce.

**(2)** Pro pořádání plaveckých soutěží či jiných organizovaných akcí v bazénech o délce 50 m se intenzita umělého osvětlení řídí technickými normami.

**(3)** Všechny místnosti a prostory objektů krytých a nekrytých umělých koupališť musí být větrány; pokud nestačí přirozená výměna vzduchu okny, musí být výměna vzduchu zajištěna nuceným větráním. Větrání záchodů musí být podtlakové.

Tabulka 1 Výtah z přílohy č. 12 vyhlášky č. 238/2011 Sb.

Faktor prostředí	Hala bazénu	Přilehlé prostory pro uživatele (šatny, WC, sprchy, chodby atd.)
Teplota vzduchu	o <b>1 - 3 °C</b> vyšší než teplota vody v bazénu	sprchy 24-27 °C šatny a místnosti pro pobyt osob 20-22 °C
Relativní vlhkost vzduchu	max. 65 %	sprchy max. 85 % ostatní prostory max. 50 %
Intenzita výměny vzduchu	min. 2× za hodinu	sprchy min. 8× za hodinu šatny 5-6× za hodinu ostatní prostory tak, aby vyhovovaly limitním hodnotám relativní vlhkosti vzduchu

Pro porovnání uvádím přehled hodnot vycházejících z Německé technické normy VDI 2089, která ačkoliv je v České republice právně nezávazná, často se na základě ní zařízení obsluhující bazénové prostory navrhuje.

Typ místnosti	Teplota v místnosti ti [°C]	Column1
	min.	max.
vstupní prostor, vedlejší místnosti	20	-
schodiště	18	-
šatny	22	28
správa bazénu a personální pokoj	22	26
sprchy s přilehlými prostory	26	34
Bazénová hala	30	34

Typ bazénu	Teplota vody [°C]
bazén pro neplavce	28
plavecký bazén	
bazén pro potápěče	
bazén s umělými vlnami	
rekreační bazén	28 to 32
dětské brouzdaliště	32
bazén pro cvičení	32
terapeutický bazén	36
vířivka	36
potní lázeň	35
horký bazén	
studený bazén	15

Kromě těchto hodnot norma stanovuje teplotu vzduchu o 2-4K vyšší než je teplota vody, maximálně však 34°C. Dále udává nejvyšší hodnotu měrné vlhkosti v interiéru 14,3 g/kg s.v. Jedná se o tzv. mez dusna. Touto hodnotou se budu dále v práci zabírat.

### A.3 Volba návrhových parametrů

Ačkoliv vyhláška č. 238/2011 Sb. udává maximální relativní vlhkost vzduchu v interiéru bazénů 65%, jedná se o parametr často neodpovídající skutečné potřebě pro dodržení optimálního mikroklima bazénových hal. Důvodem je zejména skutečnost, že je nevypovídající o reálném obsahu vodních par ve vzduchu. Příkladem může být velice odlišná měrná vlhkost vzduchu při stejné relativní vlhkosti, 65%. Pro teplotu 28°C - 16,5 g/kg s.v., a pro teplotu 32°C - 21 g/kg s.v. Jedná se o významný rozdíl, kde tyto hodnoty navíc vysoce přesahují mez dusna. Z tohoto důvodu by bylo vhodnější definovat hodnotu měrné vlhkosti vzduchu než relativní.

Proto pro můj návrh ve výpočtové části budu vycházet z německé technické normy VDI 2089, která udává že by měrná vlhkost vzduchu neměla přesáhnout empirickou hodnotu 14,3 g/kg s.v.

## A.4 Odpar

Správný výpočet odparu z vodní hladiny bazénů je pro ideální návrh vzduchotechnického systému zásadní. Ačkoliv existuje spousta metod vedoucí ke stanovení produkce vodních par z bazénů, do těch v běžné praxi používaných vstupuje jistá míra empirie. To je z toho důvodu, že samotný fyzikální jev je velice komplexní a popsat jej čistě analyticky je velice náročné.

Jedná se o jevy přenosu hybnosti, tepla a hmoty. Ty jsou iniciovány pohybem molekul, makroskopickým pohybem tekutiny a přenosem tepla radiací. Tyto fyzikální jevy popisuje Newtonův zákon o proudění v tekutinách, Fourierův zákon a Fickův zákon. Základní kritériální vztahy přenosu tepla a vlhkosti jsou Nusseltovo a Prandtlovo kritérium, Schrewoodovo a Schmidtovo kritérium, Archimedovo kritérium pro vliv přirozené konvekce a Reynoldsovo kritérium pro vliv nucené konvekce. Problém se dá řešit pomocí modelování a výpočtem pomocí softwaru užívající numerické metody.

Do zjednodušených analytických výpočtů odparu vstupuje zejména rozdíl parciálních tlaků vodní páry vzduchu a rychlost proudění vzduchu nad hladinou a způsob využití bazénu - tedy zda-li je hladina klidná nebo zvlněná. Právě poslední parametr bývá vyjádřen součinitelem přenosu hmoty.

### **Výpočetní metody**

#### *a) Dle empirických vztahů*

$$m_{wo} = m_{wo,1} \cdot S_h / 1000 \quad [kg \cdot h^{-1}]$$

$m_{wo,1}$  – součinitel přenosu hmoty ( $200 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  pro bazén v provozu a více zvlněnou hladinu)

$S_h$  – plocha volné hladiny bazénu [ $\text{m}^2$ ]

#### *b) Dle VDI 2089 (r. 2009)*

$$m_{wo} = \frac{\beta_{(p/n)}}{R_v \cdot \bar{T} \cdot 3,6} \cdot S_h \cdot (p''_{v(tw)} - p_{v(ti)}) \quad [g \cdot s^{-1}]$$

$\beta_{(p/n)}$  – součinitel přenosu hmoty (viz Tabulka 2) [ $\text{m}/\text{h}$ ]

$R_v$  – plynová konstanta pro vodní páru ( $461,52 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ )

$\bar{T}$  – aritmetický průměr teplot vody a vzduchu [ $\text{K}$ ]

$S_h$  – plocha volné hladiny bazénu [ $\text{m}^2$ ]

$p''_{v(tw)}$  – tlak syté páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody [ $\text{Pa}$ ]

$p_{v(ti)}$  – tlak páry při teplotě vnitřního vzduchu [ $\text{Pa}$ ]

Tabulka 2 Součinitel přenosu hmoty  $\beta$ 

Charakter provozu	nepoužívaný bazén n [m/h]	používaný bazén p [m/h]
Zakrytý bazén	0,7	-
Soukromý bazén	7	21
Veřejný bazén (hloubka > 1,35m)	7	28
Veřejný bazén (hloubka < 1,35m)	7	40
Bazén s umělými vlnami	7	50

c) Dle VDI 2089 (r. 1989)

$$m_{wo} = \varepsilon \cdot S_h \cdot (p''_{v(tw)} - p_{v(ti)}) [g \cdot s^{-1}]$$

$\varepsilon$  – součinitel přenosu hmoty [ $g/s \cdot m^2 \cdot mbar$ ]

$S_h$  – plocha volné hladiny bazénu [ $m^2$ ]

$p''_{v(tw)}$  – tlak syté páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody [Pa]

$p_{v(ti)}$  – tlak páry při teplotě vnitřního vzduchu [Pa]

Tabulka 3 Součinitel přenosu hmoty  $\varepsilon$ 

Charakter provozu	$\varepsilon$ [ $g/s \cdot m^2 \cdot mbar$ ]
Soukromý bazén	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Veřejný bazén	$7,8 \cdot 10^{-3}$
Bazén s umělými vlnami	$9,7 \cdot 10^{-3}$

d) Dle Technického průvodce větrání a klimatizace

Výpočet dle rozdílu parciálních tlaků:

$$m_{wo} = \beta \cdot S_h (p''_{v(tw)} - p_{v(ti)}) [g \cdot s^{-1}]$$

$S_h$  – plocha volné hladiny bazénu [ $m^2$ ]

$p''_{v(tw)}$  – tlak syté páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody [Pa]

$p_{v(ti)}$  – tlak páry při teplotě vnitřního vzduchu [Pa]

$\beta$  – součinitel přenosu hmoty [ $kg/h \cdot m^2 \cdot kPa$ ]

pro malé rychlosti proudění:

$$\beta = 0,124 + 0,11 \cdot w$$

$w$  – rychlost proudění vzduchu nad hladinou bazénu [m/s]

Výpočet dle rozdílu měrných vlhkostí:

$$m_{wo} = \beta_x \cdot S_h (x''_{tw} - x_{ti}) \text{ [g} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

$\beta_x$  – součinitel přenosu hmoty [ $\text{kg/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kPa}$ ]

$x''_{tw}$  – měrná vlhkost vzduchu při teplotě vody [g/kg s.v.]

$x_{ti}$  – měrná vlhkost vzduchu pro teplotu v interiéru [g/kg s.v.]



## A.5 Průtok vzduchu v závislosti na vlhkosti vzduchu v interiéru

V této kapitole bych rád zdůraznil, jak významná je volba návrhové hodnoty relativní vlhkosti, kterou chceme v bazénové hale dodržovat. Do výpočtu průtoku vzduchu v místnosti pro odvod vlhkosti totiž vstupují dvě zásadní veličiny. Produkce vodních par a rozdíl měrných vlhkostí přiváděného a odváděného vzduchu.

$$V = \frac{m_{wo}}{\Delta x \cdot \rho} \quad [m^3 \cdot s^{-1}]$$

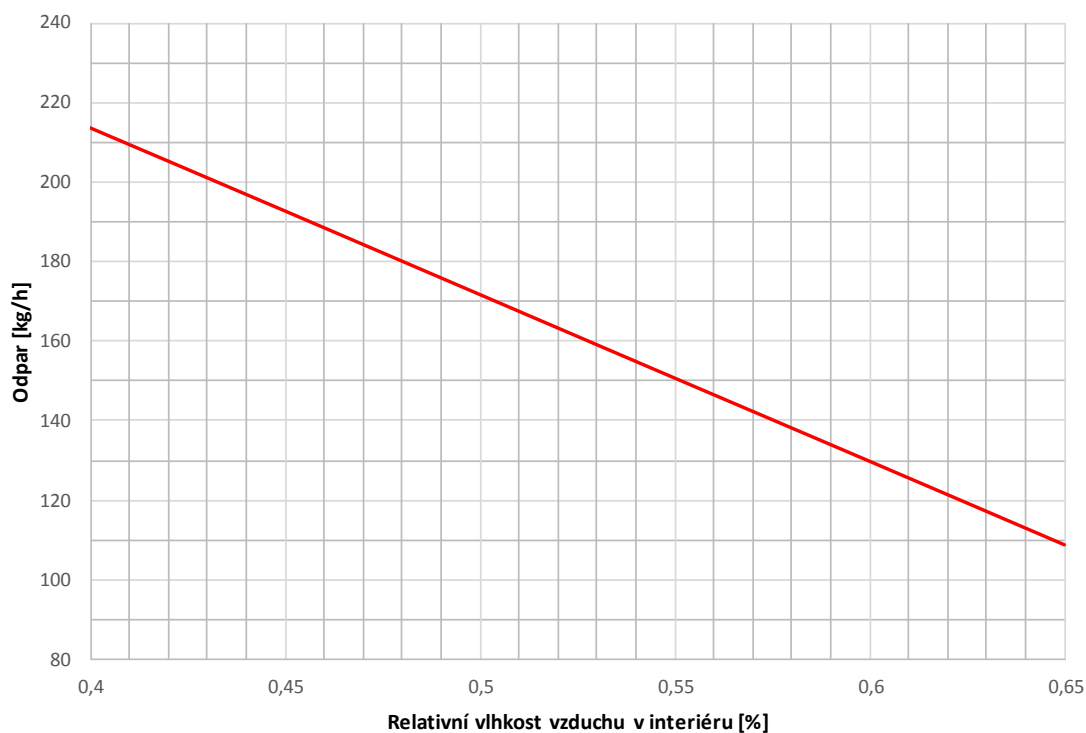
$m_{wo,1}$  – produkce vlhkosti [g/s]

$\Delta x$  – rozdíl měrných vlhkostí přiváděného a odváděného vzduchu [g/kg s.v.]

$\rho$  – hustota vzduchu [kg/m<sup>3</sup>]

Pokud například srovnáme dříve zmíněnou měrnou vlhkost 14,3 g/kg s.v. dle VDI 2089 (při teplotě interiéru bazénové haly 30°C odpovídá relativní vlhkosti 52 %) a 65% které udává vyhláška č. 238/2011 Sb., zjistíme že průtok na který musíme zařízení dimenzovat se bude zásadně lišit. Nejen že odpar při vyšší vlhkosti v interiéru bude nižší, ale rovněž rozdíl měrných vlhkostí nám poroste v náš prospěch. Tudíž vyšší nároky na udržování vlhkosti v interiéru prudce navyšují investiční i provozní náklady zařízení.

Graf 1 demonstruje pokles odparu z hladiny bazénů při vyšší vlhkosti v interiéru, spočítaný metodou VDI 2089 pro konkrétní bazénovou halu, řešenou ve výpočtové části méj práce.

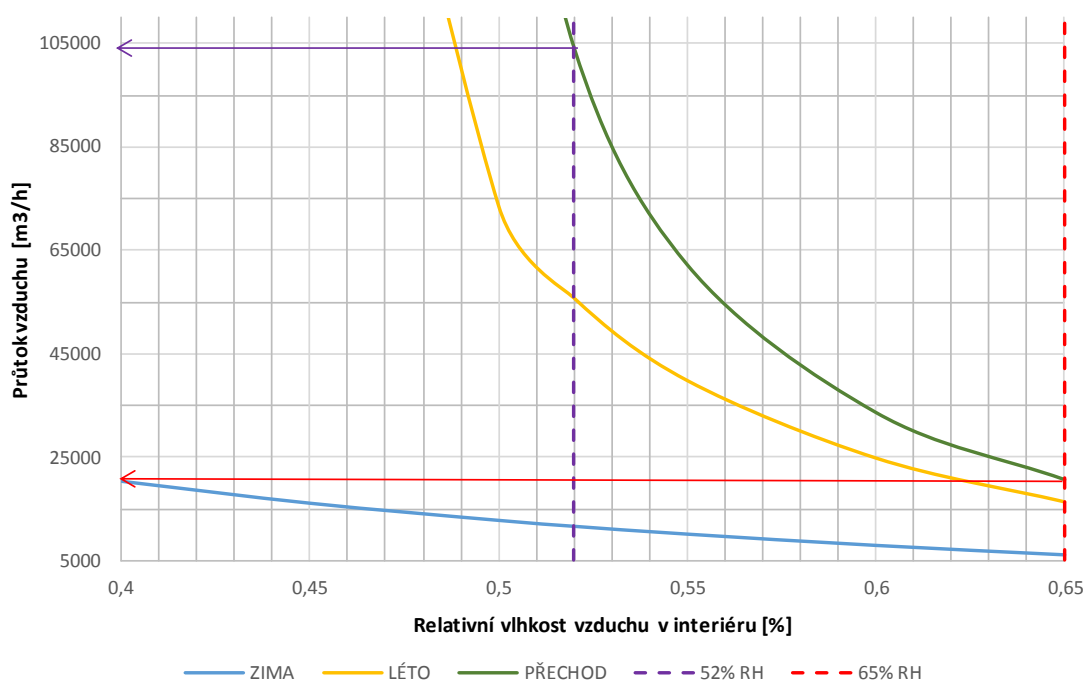


Graf 1 Vývoj odparu z vodní hladiny při různé RH v bazénové hale

Na dalším grafu (Graf 2) vidíme potřebu průtoku čerstvého vzduchu v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu v interiéru. Zde se k rostoucímu odparu při nižších vlhkostech přidává i měnící se rozdíl měrných vlhkostí, a vidíme že závislost již není lineární.

Výsledky jsou spočítány opět pro odvod vlhkostní zátěže řešeného objektu. V zimním období kdy měrná vlhkost venkovního vzduchu je nízká, tím pádem rozdíl měrných vlhkostí vysoký, není problém i při dodržení velice nízké relativní vlhkosti vzduchu. Nicméně v přechodovém období, kdy se k sobě měrné vlhkosti vzduchu blíží a  $\Delta x$  je minimální, průtoky velice rychle rostou. V extrémních případech může nastat i situace, kdy  $x_e > x_i$  a tudíž větráním neodvedeme vlhkost žádnou.

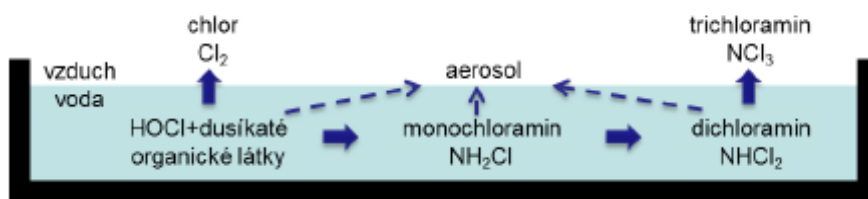
Proto pro tyto případy vychází obrovské průtoky vzduchu, na které nemá smysl zařízení nejen z ekonomického důvodu dimenzovat. Zatímco při vlhkosti 65% by pro odvod produkce vodní páry postačil průtok 20 700 m<sup>3</sup>/h, pro dodržení relativní vlhkosti 52% by bylo zapotřebí 104 500 m<sup>3</sup>/h, tedy pětinašobek. Při teoretickém realizování této varianty by rovněž dozajista nastaly problémy s distribucí vzduchu, potažmo dodržení rychlosti proudění v pásnu pobytu osob a nad hladinou bazénů. Pro zamezení nebezpečí průvanu v hale by intenzita výměny vzduchu neměla překročit 8-12ti násobek za hodinu. Průtok 20 700 m<sup>3</sup>/h odpovídá intenzitě výměny vzduchu pětkrát za hodinu, průtok 104 500 m<sup>3</sup>/h 25x.



Graf 2 Závislost průtoku větracího vzduchu na relativní vlhkosti v interiéru

## A.6 Trichloramin

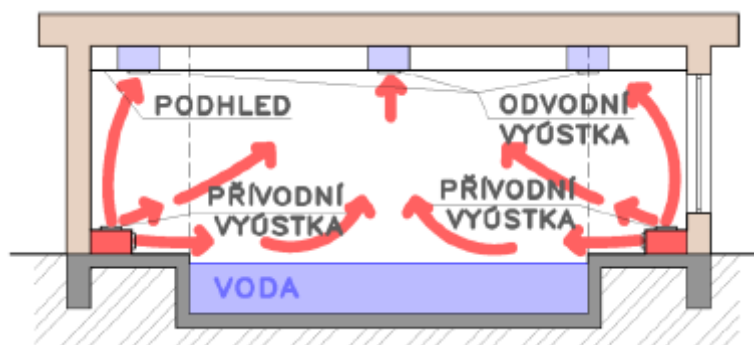
V bazénech, které mají chemicky ošetřenou vodu chlorem, dochází současně s produkcí vodní páry i k produkci zdraví nebezpečných chemických látek. Spojením organických látek produkovaných lidmi (moč, pot, nečistoty) s dezinfekčními prostředky aplikovanými v bazénu a dalšími prostředky pro úpravu vlastností vody dochází ke tvorbě nežádoucích látek. Krom jiných se jedná zejména o Trichloramin. Ten neblaze působí na dýchací ústrojí člověka a potenciálně způsobuje alergická onemocnění. Jelikož je tato látka těžší než vzduch, drží se při hladině bazénu. Proto při nesprávně navržené distribuci vzduchu hrozí kumulace této látky až do mezí přesahující stanovené meze. Vyhláška č. 238/2011 Sb. předepisuje maximální koncentraci chemikálií ve vodě, konkrétně pro Trichloramin stanovuje hodnotu  $0,5 \text{ mg/m}^3$ .



Obrázek 1 Vznik trichloraminu

## A.7 Distribuce vzduchu

Nejen pro efektivní odvod Trichloraminu je zásadní optimální distribuce vzduchu v bazénové hale. Ta musí být rovnoměrně provětrávána z důvodu nebezpečí kondenzace na studených površích stavebních konstrukcí. Pro zamezení tohoto jevu je vhodné instalovat přívodní distribuční elementy poblíž proskleným plochám. Pro zmíněný odvod chemikálií je vhodné ofukovat hladinu bazénu a tímto proudem vzduchu odvést škodliviny ležící na hladině pryč a tam je odsát. Toto řešení má ovšem neblahý vliv na zmiňovaný odpar vodní páry. Rovněž je důležité dodržet rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně do  $0,2 \text{ m/s}$ .



Obrázek 2 Ideální distribuce vzduchu v bazénové hale, dle Ing. Blasinkoho

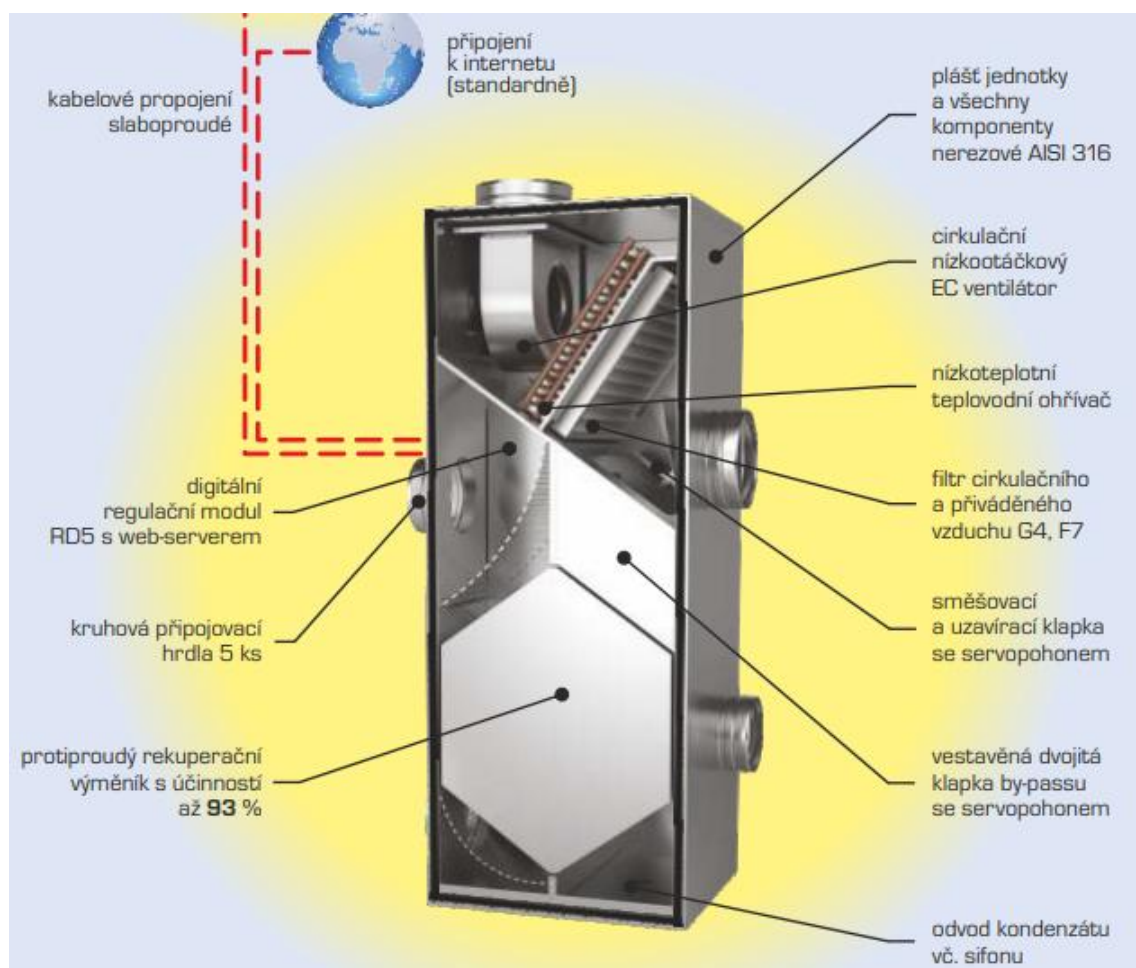
## A.8 Technické řešení větrání bazénových hal

Z hlediska odvodu vlhkosti z bazénových hal existuje několik technických způsobů. Zásadní je rozdíl v principu odvlhčování.

### *Nucené větrání*

Jedním z nich je eliminace vlhkostní zátěže pomocí nuceného větrání. Principem tohoto řešení je přívod vzduchu do objektu s nižší měrnou vlhkostí. Odvodem vysoce vlhkého vzduchu a smísením vzduchu v interiéru s čerstvým vzduchem potom dochází k poklesu měrné vlhkosti v místnosti, resp. její udržení a nezvýšení vlivem produkce vodní páry odparem. Stejný princip se aplikuje i u přirozeného větrání, nicméně zde nemusí být zajištěn potřebný průtok čerstvého vzduchu.

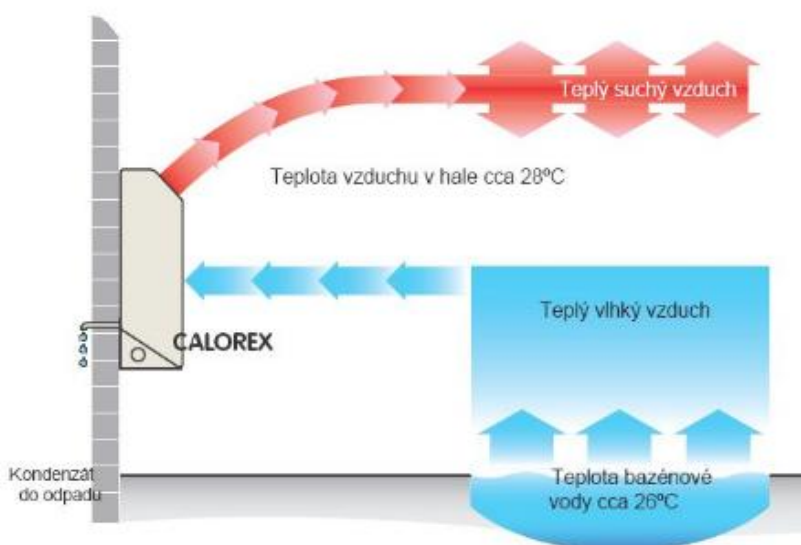
Výhodou této varianty mohou být nižší pořizovací i provozní náklady, nicméně technicky není možné dostatečně regulovat vlhkost v objektu. V případě větších objektů s vysokou produkcí vodní páry se tento způsob stává neekonomický, z důvodu potřeby vysoké průtoky vzduchu, tím pádem výkonnějších a energeticky náročnějších ventilátorů. Při vyšší vlhkosti vzduchu v exteriéru než v interiéru se stává zařízení neúčinné a není schopno odvést žádnou vlhkost. Tato jednotka bývá z pravidla vybavena deskovým rekuperátorem pro zpětné získávání tepla. Více z této problematiky probírám v kapitole A.5.



Obrázek 3 Větrací jednotka Atrea Duplex RDH5

### ***Nucené větrání s externím odvlhčovacím zařízením***

V tomto případě se navrhuje vzduchotechnická jednotka dle potřeby čerstvého vzduchu, nikoliv dle potřeby odvlhčování. Pro tento účel je v místnosti přidán externí odvlhčovač, který cirkuluje vzduch přes výparník na kterém vlhkost zkondenzuje a odečte přes zápachovou uzávěrku do kanalizace (viz Obrázek 4). Výhodou může být menší nárok na vzduchotechnické zařízení, které má za úkol pouze přívod čerstvého vzduchu do místnosti, tím pádem pracuje s výrazně nižšími průtoky. Naopak neefektivním se toto řešení stává v případě kdy je zapotřebí vyššího odvlhčovacího výkonu.



Obrázek 4 Princip funkce odvlhčovače

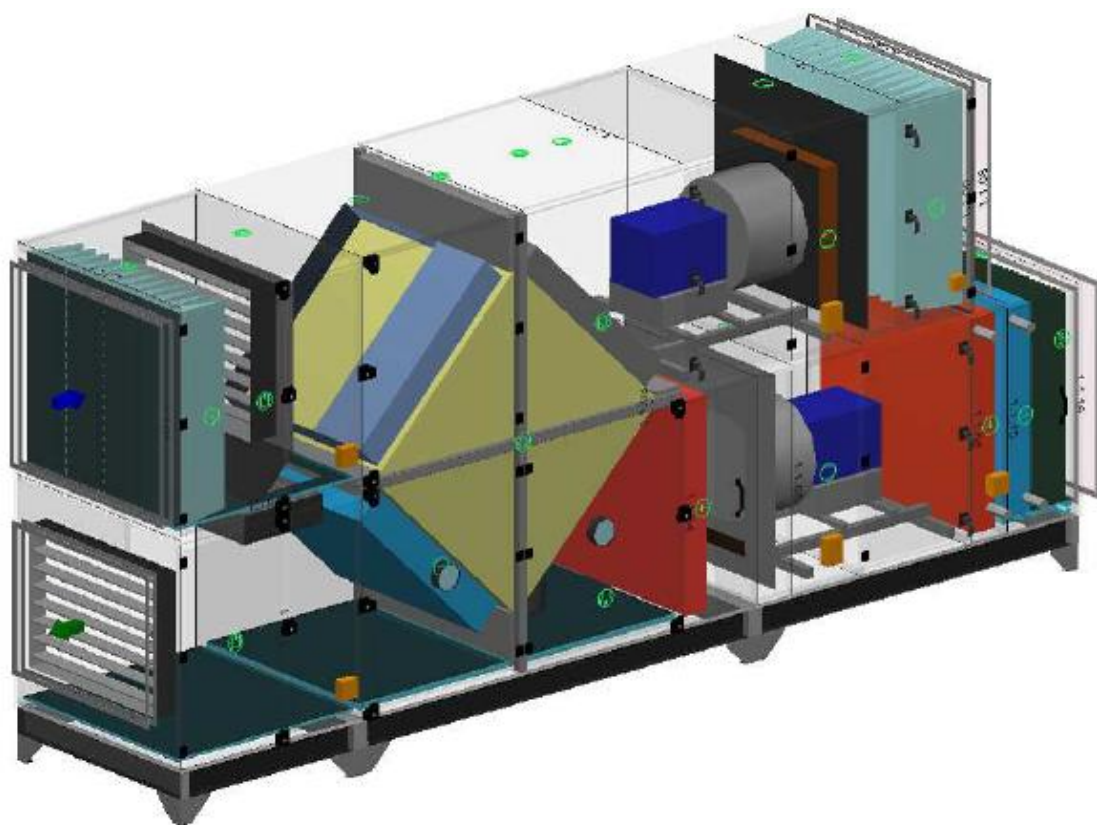
### ***Vzduchotechnická jednotka obsahující chladič***

Jedná se o obdobné řešení jako první varianta, s tím že je do sestavy doplněn tepelný výměník napojený na zdroj chladu. Může se jednat o vodní chladič nebo přímý výpar. Právě na chladiči zkondenzuje část vlhkosti, tím pádem může být navržen nižší průtok vzduchu. Zde se volí jistý kompromis při návrhu průtoku pro odvod vlhkosti čerstvým vzduchem a dimenzováním chladiče. Jednotka bývá vybavena směšovací klapkou, kdy část vzduchu z interiéru se cirkuluje jednotkou, mísí s čerstvým a odvlhčuje na chladiči. Pro zajištění plně řízeného odvlhčování je potřeba, aby jednotka po chladiči obsahovala ohřívač pro dohřev vzduchu po zchlazení. Na rozdíl od předchozích variant toto řešení je při správném návrhu schopno plně pokrýt tepelnou zátěž objektu.

### ***Vzduchotechnická jednotka včetně strojního odvlhčování***

Nejsofistikovanějším řešením je návrh zařízení obsahující tepelné čerpadlo. Pro maximalizaci využití energie je instalováno více kondenzátorů, které se v případě přebytku tepla využívají i pro ohřev bazénové vody. Výparník bývá umístěn na odvodní větvi za rekuperátorem, zchladí vzduch z něhož zkondenzuje vodní pára, dále je přes cirkulační klapku zpět přiveden do přívodní větve, prochází rekuperátorem který vzduch opět ohřeje (rekuperátor plní funkci ekonomizéru) a následně dohřeje na požadovanou teplotu průchodem přes kondenzátor tepelného čerpadla. Nevýhodou tohoto zařízení mohou být vyšší pořizovací a provozní náklady, nicméně

při správném návrhu je schopno zajistit požadované mikroklima bazénové haly za všech podmínek.



Obrázek 5 Vzduchotechnická jednotka včetně strojního odvlhčování



## A.9 Měřicí technika

Pro vyhodnocení stavu mikroklimatu bazénových hal se užívá různé přístrojové techniky. Může se jednat například o stále instalovaná čidla měřící fyzikální veličiny jako vlhkost, teplotu, dále průtok, CO<sub>2</sub> atd., na základě kterých vyhodnocuje řídicí systém vzduchotechnické jednotky potřeby objektu a ovládá zařízení pro dosažení optimálního stavu interiéru.

V této kapitole uvedu několik přístrojů pro místní šetření i dlouhodobé měření pro analýzu mikroklimatu. Konkrétně se jedná o přístroje které byly použity v experimentálním řešení problému popsaném v části C.



Obrázek 6 Dataloggery pro záznam teploty a vlhkosti vzduchu Comet S3120



Obrázek 8 USB Datalogger pro měření teploty a vlhkosti vzduchu CEM DT-171T



Obrázek 7 Lopatkový anemometr - USB Datalogger CEM DT-186 pro měření průtoku vzduchu



Obrázek 9 Soustava žárový anemomet s měřicí ústřednou ALMEMO 2590



Obrázek 10 Soustava teplotní čidlo dotykové s měřicí ústřednou Ahlborn Therm 2420





Obrázek 11 Termokamera FLIR E50

## **B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ**

### **B.1 Úvod**

Cílem projektové části této diplomové práce je koncepční řešení vzduchotechnického systému pro zadanou budovu, zejména tedy bazénové haly.

Zadáním je navrhnout dvě varianty technického řešení, ty poté srovnat a vyhodnotit z hlediska kvality vnitřního prostředí a uživatelského komfortu. Rovněž doložit výpočty vedoucí k návrhu, výkresovou dokumentaci v rozpracovanosti projektu pro stavební povolení a stručnou technickou zprávu.

V návrhu se zabývám zejména výpočtem odparu, jeho závislostí na vlhkosti v místnosti, vhodnou volbou jednotky obsluhující bazénovou halu a způsobem odvodu vodních par produkovaných odparem z vodní hladiny. Srovnávám varianty na základě uživatelského komfortu návštěvníků který jednotky dokážou zajistit a pro vybranou variantu dále vypracuji projekt.

#### **B.1.1 Popis objektu**

Jedná se o areál wellness centra ležícího v Bruntále, objekt má dvě nadzemní podlaží a strojovnu vzduchotechniky na střeše 2NP.

Do budovy se vstupuje na úrovni 1NP, kde se nachází restaurace, fitness centrum s příslušným hygienickým zázemím, prodejna a technické zázemí bazénů.

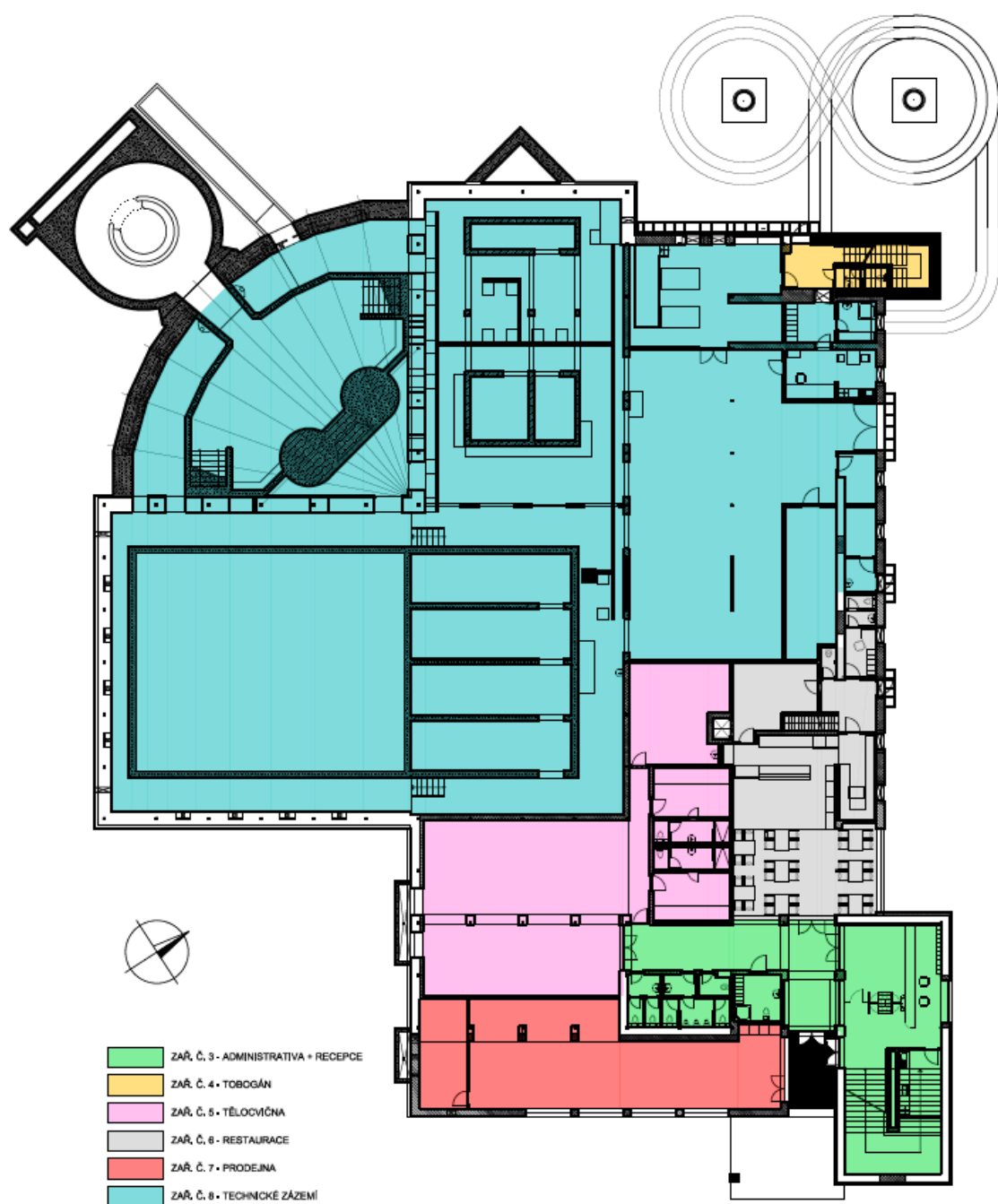
V 2NP je potom samotná bazénová hala, z níž je umožněn přístup na venkovní terasu za objektem. Dále se zde nachází šatny s hygienickým zázemím a parní saunou, restaurace - tzv. mokrý bar a administrativa.

V bazénové hale se nalézají dvě vířivky a tři bazény, a to pětadvacetimetrový plavecký, dětský a relaxační bazén. Relaxační bazén je průplavem spojen s vodní atrakcí v exteriéru, tzv. divokou řekou. Z bazénové haly je přístup do oddělené tobogánové věže.

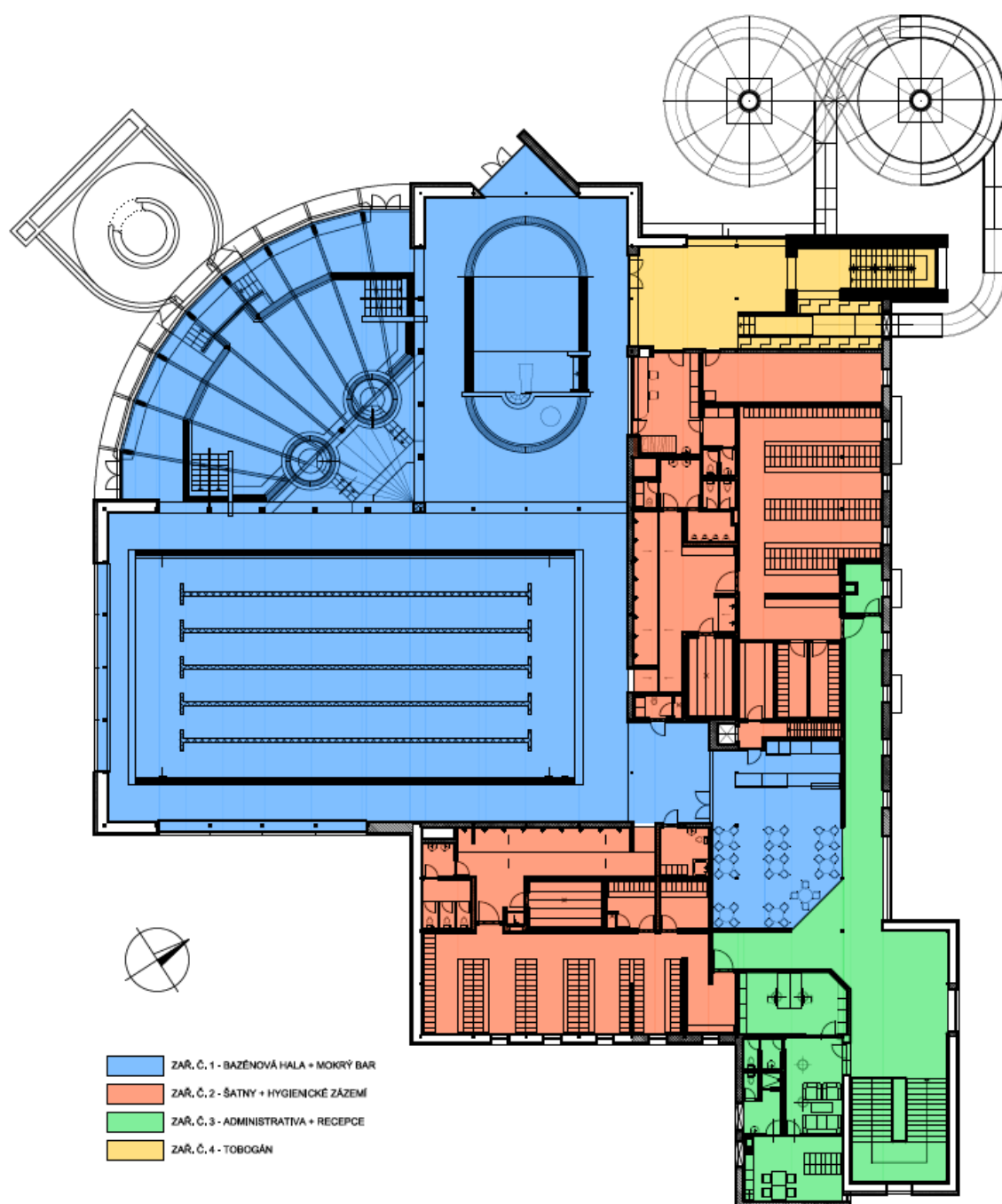
#### **B.1.2 Analýza budovy a rozdělení na funkční celky**

V této práci se budu zabývat návrhem vzduchotechnického zařízení pro bazénovou halu a její bezprostředně funkčně spojené okolí. Pro správný chod wellness centra a funkci budovy je toto zařízení stěžejní. Ostatní prostory budou obsluhovány dalšími zařízeními, které nejsou předmětem této práce. Nicméně v rámci ideového řešení navrhnu rozdělení celého objektu na funkční celky.

Objekt je z hlediska účelu a funkce prostor a jejich umístění rozdělen celkem do 8 funkčních celků. Každá z těchto zón bude obsluhována jedním vzduchotechnickým zařízením.



Obrázek 12 Funkční celky 1NP



Obrázek 13 Funkční celky 2NP

### *Zař. č. 1 - Bazénová hala + mokrý bar*

Jak již bylo zmíněno, jedná se o nejkritičtější vzduchotechnické zařízení v objektu. Účelem tohoto zařízení je zejména spolehlivý odvod produkované vlhkosti z bazénové haly a s tím spojená ochrana budovy před nežádoucími vlivy působení vodních par na konstrukce. Samozřejmě také musí zajistit tepelný komfort návštěvníků, zaměstnanců a bezpečný odvod bazénové chemie z okolí vodních ploch.

K samotné bazénové hale je do funkčního celku přičleněn také tzv. mokrý bar - občerstvení přístupné v plavkách bezprostředně z okolí bazénů.

Vzduchotechnická jednotka bude umístěna ve strojovně vzduchotechniky na střeše 2NP. Návrhem tohoto zařízení se bude dále práce zabývat.

### *Zař. č. 2 - Šatny + hygienické zázemí*

Obsluhuje jak mužské tak ženské šatny, hygienické zázemí a sprchy přidružené k bazénové hale. Průtok vzduchu bude nadimenzován dle počtu šatních míst. Distribuce čerstvého vzduchu v místnosti šaten, podtlakově odvod znehodnoceného vzduchu ze sprch a toalet.

V místech mužských šaten je k zóně přidruжена rovněž plavčíkárna. Zařízení se bude nacházet v prvním podlaží v technické místnosti, pod stropem vedeny páteřní rozvody k místu ženských a mužských šaten, poté instalační šachtou stoupacím potrubím do 2NP.

### *Zař. č. 3 - Administrativa + recepce*

Toto zařízení bude v 1NP větrat vstupní halu a přilehlé chodby a hygienické zázemí a recepci. V druhém podlaží potom rovněž chodby vedoucí k šatnám a také menší administrativní část objektu s dvěma místnostmi a zázemím.

### *Zař. č. 4 - Tobogán*

Zvlášť zařízení bude obsluhovat tobogánovou věž a dojezd tobogánu na úrovni 2NP. Tato věž z objektu vertikálně vyčnívá a to až do úrovně 5NP, půdorysně se jedná takřka pouze o schodišťový prostor. Samostatné zařízení pro tento prostor je vyčleněno právě z důvodu odděleného stavebního řešení, samotný tubus tobogánu vede mimo objekt a je nezateplený. Dá se zde tedy předpokládat odlišné chování prostoru od bazénové haly. Dojezd tobogánu i vstup na schodiště je sice přístupné přímo z bazénové haly, ale je oddělen lehkou příčkou se samouzavíracími dveřmi.

### *Zař. č. 5 - Tělocvična*

Jednotka bude obsluhovat tzv. fitness centrum, nebo-li tělocvičnu, masážní místnost a příslušné menší hygienické zázemí s šatnami.

### *Zař. č. 6 - Restaurace*

Pro restauraci v 1NP je vyhrazeno samostatné zařízení zejména z důvodu možnosti šíření odérů z gastro provozu. Kuchyň bude větraná podtlakově, budou zde instalovány odsávací digestoře s odlučovači tuků. K této zóně je přiřazen i sklad surovin, příslušné hygienické zázemí a malá administrativní místnost patřící k restauraci.

### *Zař. č. 7 - Prodejna*

Tato zóna je od objektu oddělena jak provozně, tak stavebně. Vstup do prodejny je proveden z exteriéru a nijak tento prostor spojen s wellness centrem není. Předpokládá se zde nájemní prostor. Z těchto důvodů je pro prodejnu vyhrazeno samostatné zařízení.

### *Zař. č. 8 - Technické zázemí*

Ačkoliv je celý objekt zasazen do terénu a technické zázemí je tudíž prostorově z jihozápadu omezeno, stále prostor zabírá většinu půdorysné plochy prvního nadzemního podlaží. Nachází se zde technologie bazénů, druhá strojovna vzduchotechniky, kotelna, zázemí pro správce budovy apod. Vzduchotechnická jednotka obsluhující tento prostor bude umístěna právě zde, s ostatními jednotky které obsluhují funkční celky nacházející se v 1NP.

## **B.2 Tepelně vlhkostní bilance**

### **B.2.1 Návrhové parametry**

Teploty, rozměry a kapacitu bazénů nacházejících se ve wellness centru shrnuje následující Tabulka 4. Kapacita vodních ploch a okamžitá kapacita bazénů vychází rovněž z vyhlášky 238/2011 Sb., §17 *Hygienické požadavky na plavecké a koupelové bazény*. Ta definuje vodní plochu pro jednoho plavce/neplavce, a okamžitou kapacitu jako dvojnásobek kapacity vodních ploch.

Tabulka 4 Informace o jednotlivých bazénech a kapacitě areálu

<b>Bazény:</b>	<b>Plavecký</b>	<b>Relaxační</b>	<b>Výřivky</b>	<b>Pro děti</b>
Plocha [m <sup>2</sup> ]	313	90	8,5	64,5
Teplota vody [°C]	27	30	34	30
Hloubka [cm]	120-180	140	-	10 - 60
Obsazenost [m <sup>2</sup> /os]	5	5	6 osob/výřivka	3
Počet osob	63	18	12	22
Kapacita vodních ploch [os]				115
Okamžitá kapacita návštěvníků areálu [os]				230

Z teploty vody plaveckého bazénu 27°C a výše zmíněném požadavku vyhlášky č. 238/2011 Sb., která nařizuje teplotu vzduchu vyšší o 1-3°C vyšší než teplota vody, vyplývá návrhová teplota interiéru bazénové haly 30°C. Při zachování požadavku na udržení dříve zmiňované měrné vlhkosti 14,3 g/kg s.v. pro zvolenou návrhovou teplotu vychází relativní vlhkost 52%.

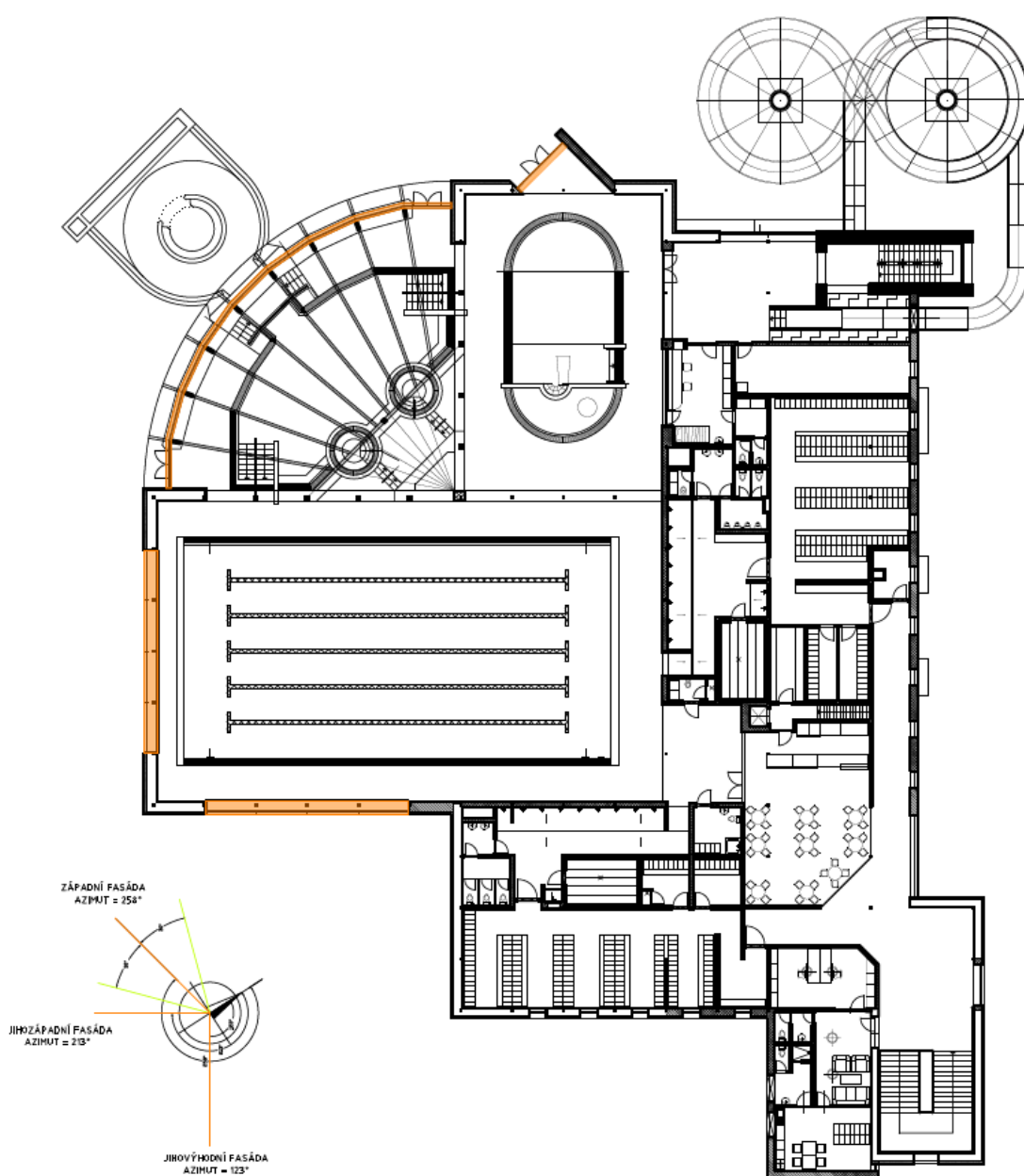
Následující Tabulka 5 shrnuje veškeré návrhové parametry vnitřního a také venkovního vzduchu, které byly zvoleny s ohledem na umístění objektu a odpovídající klimatologické údaje. Krom letního a zimního výpočtového extrému, je u bazénových hal žádoucí ověřit i přechodové období, vyznačující se deštivými dny s již vysokými teploty, tedy vysokou měrnou vlhkostí vzduchu. Právě toto období bývá kritické pro odvod vlhkostní zátěže větráním. Hodnoty zvýrazněné tučně byly zvoleny, ostatní hodnoty dopočítány.

Tabulka 5 Návrhové parametry

Návrhové podmínky	Interiér	Exteriér		
		Léto	Přechod. Období	Zima
Teplota [°C]	30	30	19	-15
Relativní vlhkost [%]	52	43	89	94
Měrná vlhkost [g/kg s.v.]	14,3	12	12,8	1
Entalpie [kJ/kg]	66,9	61	51,6	-12,7

### B.2.2 Tepelné zisky

Celkové tepelné zisky jsou rovny součtu tepelné zátěže z interiéru a exteriéru. Z exteriéru jsou to tepelné zisky okny radiací, okny konvekce a tepelná zátěž vnějších stěn. Z interiéru je to produkce tepla od lidí a světel. Tepelné zisky jsou počítány pro 21. červenec.



Obrázek 14 Prosklené fasády bazénové haly a jejich azimuty

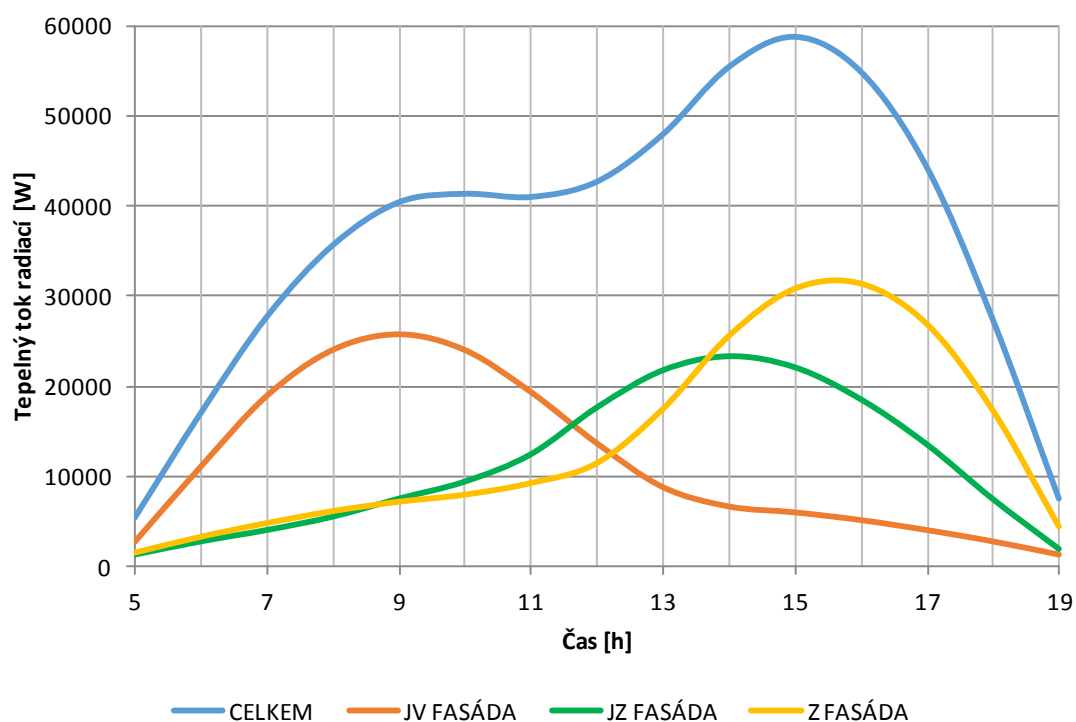
## Tepelné zisky okny radiací

Bazénová hala má velkou část fasády prosklenou viz Obrázek 14. Tepelné zisky oken radiací tedy budou nejvýznamnější složkou tepelné zátěže. Prosklené plochy jsou orientovány na tři světové strany, jihovýchod, jihozápad a západ. Byl proveden výpočet pro zjištění doby výpočtu s nejvyšší hodnotou intenzity sluneční radiace. Výsledky zátěží jednotlivých fasád a součtový tepelný tok radiací v průběhu dne znázorňuje Graf 1.

Tabulka 6 Intenzita sluneční radiace pro bazénovou halu

Směr	Azimut	Intenzita sluneční radiace pro denní dobu [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ] (Pro 21.7., 50° s.š., součinitel znečištění atmosféry $z = 5$ )																
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
V	90	83	322	481	539	505	389	232	141	139	130	117	100	78	53	24		
JV FASÁDA	123	52	218	374	475	509	475	382	269	173	130	117	100	78	53	24		
JV	135	41	180	335	452	511	506	437	316	185	130	117	100	78	53	24		
J	180	24	53	78	128	230	335	409	435	409	335	230	128	78	53	24		
JZ FASÁDA	213	24	53	78	107	147	185	245	348	430	460	436	366	266	146	36		
JZ	225	24	53	78	100	117	130	185	316	437	506	511	452	335	180	41		
Z FASÁDA	258	24	53	78	100	117	130	151	188	287	420	507	516	442	284	72		
Z	270	24	53	78	100	117	130	139	141	232	389	505	539	481	322	83		

Směr	Azimut	Tepelný tok radiací pro denní dobu [W]																
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
JV FASÁDA	123	2647	11046	18959	24093	25827	24073	19385	13656	8758	6591	5932	5070	3955	2687	1217		
JZ FASÁDA	213	1217	2687	3955	5449	7460	9363	12408	17631	21778	23343	22109	18536	13510	7409	1849		
Z FASÁDA	258	1456	3216	4732	6067	7099	7887	9178	11386	17392	25494	30736	31294	26821	17239	4356		
CELKEM		5320	16949	27646	35609	40386	41323	40971	42672	47928	55428	58777	54901	44286	27335	7422		



Graf 3 Zátěž okny radiací v průběhu dne



### *Výpočet velikosti osluněné části zasklení okna pro jednotlivé fasády*

Určená doba výpočtu odpovídající maximální intenzitě radiace je 15h. Azimut slunce  $\alpha = 246^\circ$ , výška slunce nad obzorem  $h = 44^\circ$ .

$$S_{os} = [l_a - (e_1 - f)] \cdot [l_b - (e_2 - g)] \quad [m^2]$$

Jihovýchodní fasáda:

- Azimut stěny:  $\gamma = 123^\circ$
- Výška okna: 4,5 m
- Šířka okna: 11,86 m
- Podíl rámu vůči ploše okna 5%

$$|\alpha - \gamma| > 90^\circ$$

$$|246 - 123| = 123^\circ > 90^\circ$$

Toto okno se nachází pro určenou dobu výpočtu celé ve stínu.

Jihozápadní fasáda:

- Azimut stěny:  $\gamma = 213^\circ$
- Hloubka okna:  $c = d = 0,150 \text{ m}$
- Šířka rámu:  $f = g = 0,150 \text{ m}$
- Výška okna: 4,5 m
- Šířka okna: 11,86 m
- Podíl rámu vůči ploše okna 5%

Vodorovný stín:

$$e_1 = c \cdot \tan|\alpha - \gamma| \quad [m]$$

$$e_1 = 0,15 \cdot \tan|246 - 213| = 0,1 \text{ m}$$

$$e_1 - f = 0,1 - 0,15 = -0,05 \text{ m}$$

Stín dopadá na rám okna.

Svislý stín:

$$e_2 = d \cdot \frac{\tan h}{\cos|\alpha - \gamma|} \quad [m]$$

$$e_2 = 0,15 \cdot \frac{\tan 44}{\cos|246 - 213|} = 0,17 \text{ m}$$

$$e_2 - g = 0,17 - 0,15 = 0,02 \text{ m} \rightarrow \text{zanedbávám}$$

Stín dopadá z velké části na rám okna, zbývající část stínu je nevýznamná a tudíž si jí dovoluji zanedbat.

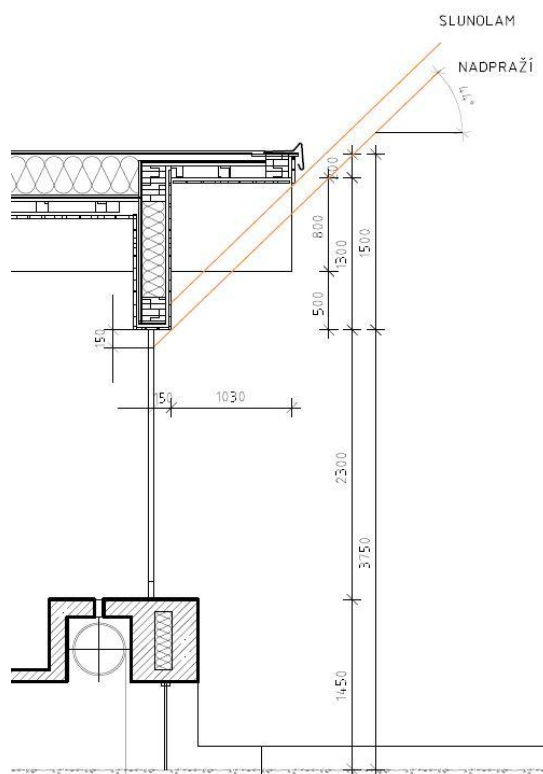
Osluněná část zasklení okna:

$$S_{os} = 11,86 \times 4,5 \times 0,95 = 50,70 \text{ m}^2$$

Západní fasáda:

Nad okny západní fasády je protažena konstrukce střechy a plní tedy funkci slunolamu. Nicméně pro určenou výpočtovou hodinu a odpovídající výšku slunce nad obzorem veškeré sluneční záření dopadá na zasklení a stín tvořený slunolamem dopadá na konstrukci stěny, viz Obrázek 15.

- Azimut stěny:  $\gamma = 258^\circ$
- Hloubka okna:  $c = d = 0,150 \text{ m}$
- Šířka rámu:  $f = g = 0,150 \text{ m}$
- Výška okna normálního:  $3,4 \text{ m}$
- Výška okna sníženého:  $2,3 \text{ m}$
- Šířka okna normálního:  $14,78 \text{ m}$
- Šířka okna sníženého:  $5,91 \text{ m}$
- Podíl rámu vůči ploše okna 5%



Obrázek 15 Detail slunolamu

Vodorovný stín:

$$e_1 = 0,15 \cdot \tan|246 - 258| = 0,03 \text{ m}$$

$$e_1 - f = 0,03 - 0,15 = -0,12 \text{ m}$$

Stín dopadá na rám okna.

*Svislý stín:*

*a) Pro slunolam*

$$e_2 = 1,180 \cdot \frac{\tan 44}{\cos|246 - 258|} = 1,17 \text{ m}$$

$$e_2 - g = 1,17 - 1,3 = -0,13 \text{ m}$$

Stín dopadá na stěnu.

*b) Pro nadpraží*

$$e_2 = 0,15 \cdot \frac{\tan 44}{\cos|246 - 258|} = 0,148 \text{ m}$$

$$e_2 - g = 0,148 - 0,15 = -0,002 \text{ m}$$

Stín dopadá na rám okna.

$$S_{os} = (14,78 \times 3,4 + 5,91 \times 2,3) \times 0,95 = 60,65 \text{ m}^2$$

*Západní fasáda - dveře*

$$S_{os} = 3,81 \times 3,15 \times 0,95 = 11,4 \text{ m}^2$$

*Výpočet celkových tepelných zisků okny radiací*

- Intenzita slunečního záření pro JZ fasádu (v 15hod):  $I_{0,JZ} = 436 \text{ W/m}^2$
- Intenzita slunečního záření pro Z fasádu (v 15hod):  $I_{0,Z} = 507 \text{ W/m}^2$
- Intenzita difúzní radiace:  $I_{0dif} = 117 \text{ W/m}^2$
- Korekce na čistotu atmosféry:  $c_0 = 0,85$  (městská a průmyslová oblast)
- Stínící součinitel na jižní fasádě:  $s = 0,9$  (dvojsklo)

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_0 \cdot c_0 + (S_o - S_{os}) \cdot I_{dif}] \cdot s \quad [W]$$

$$Q_{or,JV} = [0 + 53,4 \cdot 117] \cdot 0,9 = 5623,0 \text{ W}$$

$$Q_{or,JZ} = [50,7 \cdot 436 \cdot 0,85 + (53,4 - 50,7) \cdot 117] \cdot 0,9 = 17194,8 \text{ W}$$

$$Q_{or,Z1} = [60,7 \cdot 507 \cdot 0,85 + (63,9 - 60,7) \cdot 117] \cdot 0,9 = 23879,8 \text{ W}$$

$$Q_{or,Z2} = [11,4 \cdot 507 \cdot 0,85 + (12 - 11,4) \cdot 117] \cdot 0,9 = 4484,7 \text{ W}$$

$$Q_{or} = 5623,0 + 17194,8 + 23879,8 + 4484,7 = 51182,3 \text{ W}$$

### ***Tepelné zisky oken konvekci***

$$Q_{ok} = S_o \cdot U_o \cdot (t_e - t_i) \quad [W]$$

- Teplota vnějšího vzduchu v 15hod:  $t_e = 30^\circ C$
- Teplota vnitřního vzduchu:  $t_i = 30^\circ C$
- Součinitel prostupu tepla okna:  $U_o = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$

Z toho důvodu, že se teplota interiéru a exteriéru v době výpočtu rovná, tepelný zisk oken konvekci bude nulový.

$$(t_e - t_i) = 30^0 - 30^0 = 0^0 \quad [W]$$

$$Q_{ok} = 0 \text{ W}$$

### ***Celková tepelná zátěž okny***

$$Q_o = Q_{or} + Q_{ok} \quad [W]$$

$$Q_o = 51182,3 + 0 = 51182,3 \text{ W}$$

### ***Tepelná zátěž vnějších stěn a střechy***

Tabulka 7 Průměrné rovnocenné sluneční teploty vnějšího vzduchu za 24hod

Směr	Azimut	trm
		[°C]
V	90	29,7
JV FASÁDA	123	30,1
JV	135	30,2
J	180	29,6
JZ FASÁDA	213	30,0
JZ	225	30,2
Z FASÁDA	258	29,8
Z	270	29,7
H (střecha)	-	35,3

- Teplota vnitřního vzduchu:  $t_i = 30^\circ C$
- Součinitel prostupu tepla stěny:  $U_s = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$
- Součinitel prostupu tepla střechy:  $U_{st} = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$

*Těžká stěna*

$$Q_s = U_s \cdot S \cdot (t_{rm} - t_i) \text{ [W]}$$

Jihovýchodní fasáda:

$$Q_{s,JV} = 0,25 \cdot 66,8 \cdot (30,1 - 30) = 1,7 \text{ W}$$

Jihozápadní fasáda:

$$Q_{s,JZ} = 0,25 \cdot 66,8 \cdot (30 - 30) = 0 \text{ W}$$

Západní fasáda:

$$Q_{s,Z} = 0,25 \cdot 170,1 \cdot (29,8 - 30) = -8,5 \text{ W}$$

Střecha:

$$Q_{st} = 0,16 \cdot 986 \cdot (35,3 - 30) = 836,1 \text{ W}$$

Celková tepelná zátěž vnějšími stěny (tepelná ztráta západní fasády zanedbána):

$$\sum Q_s = 1,7 + 836,1 = 837,8 \text{ W}$$

Tepelná zátěž vnitřními stěnami zanedbána, z důvodu předpokladu nižší teploty okolních místností než v bazénové hale, tudíž by se jednalo o malou tepelnou ztrátu.

Tepelná zátěž případně ztráta podlahou bude nulová, z důvodu instalovaného teplovodního podlahového vytápění v prostoru bazénové haly, která udržuje povrchovou teplotu podlahy na stejné teplotě jako je teplota vzduchu v interiéru (30°C).

### ***Tepelná produkce lidí***

Při výpočtu tepelné produkce lidí nacházejících se v bazénové hale byl zaveden předpoklad, že pouze třetina návštěvníků maximální kapacity vodních ploch se nachází mimo bazén a tudíž přispívají k tepelné zátěži.

$$Q_l = n_l \cdot q_l \text{ [W]}$$

$$Q_l = 38 \cdot 160 = 6080 \text{ W}$$

- Počet lidí mimo bazény:  $n_l = 115 \times 0,33 = 38 \text{ lidí}$
- Produkce citelného tepla:  $q_{lm} = 160 \text{ W/os}$

### ***Tepelná produkce svítidel***

- Podlahová plocha zmenšená o přirozeně osvětlenou plochu u oken (pás 5m od oken)  
 $S_s = 767m^2$
- Výkon osvětlení:  $S_s = 10 W/m^2$

$$Q_{sv} = S_s \cdot P_s [W]$$

$$Q_{sv} = 767 \cdot 10 = 7670 W$$

### ***Celkové tepelné zisky***

$$Q = \sum Q = Q_o + Q_s + Q_l + Q_{sv} [W]$$

$$Q = 7910,7 + 28,0 + 147,1 + 310 + 0 + 0 + 162,4 = \mathbf{65770,1 W}$$

## B.2.3 Tepelné ztráty

Tabulka 8 Výpočet tepelných ztrát bazénové haly

Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí							
Stavební konstrukce							
Č.k	Popis	$A_k$	$U_k$	$\Delta U$	$U_{kc}$	$e_k$	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$
SO1	Stěna obvodová	303,7	0,25	0,05	0,3	1	91,11
STR	Střecha	986,0	0,16	0,02	0,18	1	177,48
OK1	Prosklená fasáda	170,6	1,10	0	1,1	1	187,66
Celková měrná tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$ (W/K)							<b>456,25</b>
Tepelné ztráty nevytápěným prostorem							
Stavební konstrukce							
Č.k	Popis	$A_k$	$U_k$	$\Delta U$	$U_{kc}$	$b_u$	$A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$
-	-	-	-	-	-	-	-
Celková měrná tepelná ztráta přes nevytápěný prostor $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$ (W/K)							<b>0,00</b>
Tepelné ztráty z/do prostorů vytápěných na rozdílné teploty							
Stavební konstrukce							
Č.k	Popis	$A_k$	$U_k$	$f_{ij}$	$A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$		
PDL	Podlaha nad 1NP (část bez podlahového vytápění)	75	0,5	0,267	10,00		
SN1	Stěna prosklená	18,60	2,3	0,222	9,51		
SN2	Stěna ke sprchám	238,4	0,7	0,111	18,54		
SN3	Stěna k tobogánu	20,5	2,3	0,111	5,24		
SN3	Stěna do chodby	50,61	1,2	0,222	13,50		
Celková měrná tepelná ztráta z/do prostorů s odlišnou teplotou $H_{T,ij} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$ (W/K)							<b>56,78</b>
Tepelné ztráty zeminou							
Stavební konstrukce							
Č.k	Popis	$A_k$	$U_{equiv,bf}$	$A_k \cdot U_{equiv,bf}$	$f_{g1}$	$f_{g2}$	$G_w$
-	-	-	-	-	-	-	-
Celková měrná tepelná ztráta zeminou $H_{T,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,bf}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ (W/K)							<b>0,00</b>
Celková měrná tepelná ztráta prostupem $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,ij} + H_{T,iue} + H_{T,ig}$							<b>513,03</b>
$\theta_{int,i}$	$\theta_e$	$\theta_{int,i} - \theta_e$	$H_{T,i}$	Návrhová ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ (W)			
30	-15	45	513,03	23087			
Přestup tepla mezi vodní hladinou a okolním vzduchem $\Phi_{hl}$ (W)				6844			
(Použit výpočet pomocí softwaru Teruna)							
Celková tepelná ztráta bazénové haly $\Phi$ (W)				29931			

## B.2.4 Výpočet produkce vlhkosti

### *Hmotnostní tok vodní páry vlivem odparu z hladiny bazénů*

*Návrhové parametry výpočtu:*

- teplotu vzduchu v interiéru  $t_i = 30^\circ\text{C}$
- měrnou vlhkost vzduchu  $x_i = 14,3 \text{ g/kg s.v.} (\rightarrow 52\% \text{ R.H.})$
- rychlost proudění vzduchu nad hladinou bazénů  $w = 0,15 \text{ m/s}$

Tabulka 9 Přehled bazénů, jejich ploch a teplot vody

Bazény:	Plavecký	Relaxační	Výřivky	Pro děti
Plocha [m <sup>2</sup> ]	313	90	8,5	64,5
Teplota vody [°C]	27	30	34	30

Pro každý bazén byl proveden výpočet množství odpařené vodní páry z hladiny třemi způsoby:

- Dle empirických vztahů
- Dle VDI 2089 (r. 2009)
- Pomocí softwaru Teruna

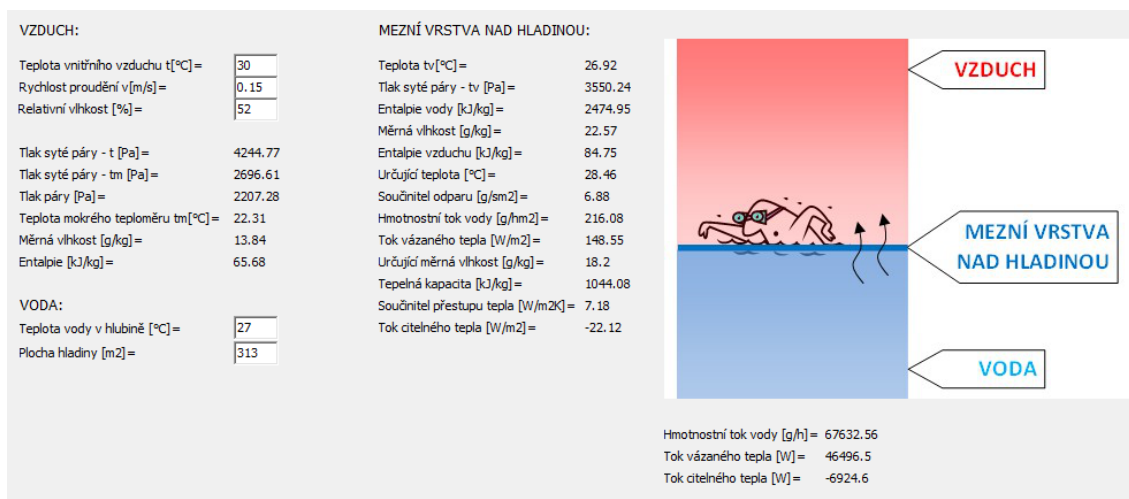
Do výpočtu dle VDI 2089 bylo počítáno s hodnotami uvedenými v Tabulka 2.

Tabulka 10 Výpočet odparu dle VDI 2089

Bazén	Plavecký	Relaxační	Výřivky	Pro děti
$\beta$ [m/h]	28	28	50	40
$R_v$ [J/kg.K]	461,52	461,52	461,52	461,52
$T$ [K]	301,65	303,15	305,15	303,15
$p_v''(t_w)$ [Pa]	3437,83	4094,33	5137,45	4094,33
$p_v(t_i)$ [Pa]	2129,05	2129,05	2129,05	2129,05
$p_d''(t_i)$ [Pa]	4094,33	4094,33	4094,33	4094,33
$m_{wo}$ [kg/h]	<b>82,4</b>	<b>35,4</b>	<b>9,1</b>	<b>36,2</b>

Příklad výpočtu odparu vodní páry v softwaru Teruna pro plavecký bazén je zřetelný na Obrázek 16, pro ostatní bazény provedeno analogicky.





Obrázek 16 Výpočet odparu pomocí softwaru Teruna

### Porovnání výpočetních metod

Následující Tabulka 11 porovnává výsledky výpočtu odparu pomocí zvolených metod. Pro následující výpočty volím hodnotu odparu nejvyšší, tj. **163,1 kg/h**, spočtenou dle normy VDI 2089 z r. 2009.

Tabulka 11 Výsledky výpočtu odparu různými metodami

Odpar [kg/h]	Plavecký bazén	Relaxační bazén	Výřivky	Bazén pro děti	Celkem	Měrný odpar [kg/h/m <sup>2</sup> ]
Empiricky	62,6	18	1,7	12,9	95,2	0,20
VDI 2089	82,4	35,4	9,1	36,2	163,1	0,34
Teruna	67,6	28,8	4,1	20,6	121,1	0,25

Z důvodu instalovaného podlahového vytápění a následkem toho zvýšené povrchové teploty podlahy, je za potřebí počítat i s možným odparem vody z mokrých povrchů okolo bazénů. Proto je zavedena odhadem přirážka 10% z celkového odparu pro pokrytí těchto vlhkostních zisků.

### Produkce vodní páry lidí

Pro výpočet je obdobně jako u tepelné produkce lidí opět počítáno s třetinou návštěvníků maximální kapacity vodních ploch se nachází mimo bazén a tudíž přispívají k vlhkostní zátěži.

$$m_w = n_l \cdot m_{lw} \text{ [W]}$$

$$Q_l = 38 \cdot 230 = 8740 \text{ g/h}$$

- Počet lidí mimo bazény:  $n_l = 115 \times 0,33 = 38 \text{ lidí}$
- Produkce vodní páry:  $m_{lw} = 230 \text{ g/h/os}$

## Celková produkce vlhkosti

Tabulka 12 Souhrn vlhkostní produkce bazénové haly

Odpar z hladiny bazénů	163,1	kg/h
Přirážka 10% pro odpar z okolních mokrých ploch	16,3	kg/h
Produkce vodní páry od lidí	8,7	kg/h
<b>Produkce vlhkosti celkem</b>	<b>188</b>	<b>kg/h</b>

### B.3 Návrh vzduchotechnické jednotky

Při návrhu vzduchotechnického zařízení pro bazénové haly se vychází z produkce vlhkosti v objektu, kterou musí jednotka odvést. Jak již bylo probráno v teoretické části práce, existuje několik způsobů, jak se vlhkost z objektu může odvádět.

Pro tento projekt jsem vybral a provedl návrh dvou variant zařízení. První varianta představuje řešení, které je technicky nejjednodušší, pořizovací náklady nejnižší, ale nedokáže garantovat zajištění optimálního mikroklima v extrémních klimatických podmínkách, které v exteriéru mohou nastat. Druhá varianta je technicky naopak nejsofistikovanější a zařízení je schopno zabezpečit ideální tepelně-vlhkostní mikroklima bazénové haly v průběhu celého roku.

První variantou tedy bude návrh zařízení, kdy se vlhkost eliminuje pouze nuceným větráním, a to rozdílem měrných vlhkostí přiváděného a odváděného vzduchu z místnosti. Druhá varianta bude návrh bazénové jednotky se strojním odvlhčením, kdy vlhkost kondenzuje na výměníku integrovaného tepelného čerpadla.

#### B.3.1 Varianta č. 1

Z důvodů probraných v teoretické části práce, nebude variantou č. 1 možné zajistit ideální mikroklima v průběhu celého roku, za všech extrémních klimatických podmínek. Proto se již nyní může tato možnost jevit jako nevhodná. Nicméně pokud se podíváme blíže na četnost výskytu těchto extrémních případů, zjistíme že i při nepříliš velkém ústupku z hlediska komfortu se dokážeme dostat na přijatelná čísla.

Dle klimatologických dat naměřených v průběhu celého roku v hodinových krocích, je výskyt měrných vlhkostí vyšších než  $x_e = 13$  g/kg s.v. pouze 25x v roce. To je v součtu pouze jeden den v roce.

Měrné vlhkosti vyšší než  $x_e = 11,5$  g/kg s.v. se nevyskytují v 97,5% případů hodinových měření. To je to 214 hodinových výskytů, což odpovídá v součtu devíti dnům v roce.

Zda-li chceme tento způsob odvlhčování použít, musíme buď ustoupit od přísnějších požadavků na vnitřní mikroklima, nebo přehodnotit návrhové podmínky exteriéru, které jsme dříve zvolili.

Hodí se zmínit, že norma VDI 2089 ze které ony požadavky vycházejí ( $\max x_i = 14,3$  g/kg s.v.), rovněž připouští překročení této hodnoty při obsahu vlhkosti venkovního vzduchu  $x_e = 9$  g/kg s.v.

S vědomím faktu, že se jedná o určitý kompromis mezi garantovaným komfortem a ekonomikou řešení, bude pro tento stav venkovního vzduchu varianta č. 1 dimenzována. Nicméně i přesto budou hodnoty dané vyhláškou samozřejmě dodrženy (zejména ona relativní vlhkost 65%).

### **Výpočet průtoku**

Pro tyto zvolené podmínky vychází následující průtok větracího vzduchu. Jedná se tedy o průtok, který nám dokáže v 97,5% času v roce garantovat měrnou vlhkost 14,3 g/kg s.v., tedy 52% relativní vlhkost při teplotě 30°C.

$$V = \frac{188\,000}{(14,3 - 11,5) \cdot 1,2} = 55\,952 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \text{volím } V_p = 56\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tímto průtokem se dostáváme k hraniční přípustné intenzitě výměny vzduchu, která vychází 13x za hodinu. Minimální průtok čerstvého vzduchu vychází z hygienické dávky vzduchu na osobu, navrženo 50 m<sup>3</sup>/h/os pro maximální okamžitou kapacitu areálu. Podíl čerstvého ku přiváděnému vzduchu je 21%.

Okamžitá kapacita návštěvníků areálu	230 os
Dávka čerstvého vzduchu na osobu	50 m <sup>3</sup> /h/os
Minimální průtok čerstvého vzduchu	11500 m <sup>3</sup> /h
Průtok přiváděného vzduchu	56000 m <sup>3</sup> /h
Průtok oběhového vzduchu	44500 m <sup>3</sup> /h
Podíl čerstvého vzduchu k přiváděnému	0,21 -
Objem místnosti	4191 m <sup>3</sup>
Výměna vzduchu (čerstvého)	2,7 1/h
Výměna vzduchu celkem	13,4 1/h

Obrázek 17 Souhrn navrženého průtoku vzduchu pro variantu č. 1

### **Provozní stavy**

Požadavky na schopnost tohoto zařízení jsou přivádět čerstvý vzduch, teplovzdušně vytápět a odvádět vlhkostní zátěž pouze nuceným větráním.

V zimě se předpokládá přívod minimálního množství čerstvého vzduchu stanoveného dle dávky čerstvého vzduchu na osobu, případně minimálního množství čerstvého vzduchu potřebného pro odvod vlhkosti. Ten se po predehřátí v rekuperátoru smísí ve směšovací komoře se vzduchem cirkulačním, následně ohřeje vodním ohřívacem a přivede do bazénové haly.

V letním období se naopak předpokládá, že v případě potřeby veškerý přívodní vzduch bude nasáván z exteriéru, pro maximální odvlhčovací výkon. Obtoková klapka ZRT rekuperátoru bude otevřená, směšovací klapka zavřená.

### **Dimenzování ohřivače**

V bazénové hale nejsou krom podlahového vytápění navržena žádná otopná tělesa. Jednotka tedy musí krýt i tepelnou ztrátu bazénové haly.

Při známém průtoku a dříve vypočtených ztrátách objektu je spočtena potřebná přívodní teplota vzduchu.

$$\Delta t = \frac{Q}{V \cdot \rho \cdot c} \quad [K]$$

$$\Delta t = \frac{29\,931}{56\,000 / 3600 \cdot 1,2 \cdot 1010} = 1,59 \, K$$

$$t_p = t_i + \Delta t = 30 + 1,59 = 31,59 \, ^\circ C \rightarrow \text{volím } t_p = 32^\circ C$$

Jednotka bude obsahovat deskový rekuperátor s účinností 73%. Teplota za rekuperátorem se rovná:

$$\eta = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{i1} - t_{e1}} \quad [\%]$$

$$t_{e2} = \eta \cdot (t_{i1} - t_{e1}) + t_{e1} \quad [^\circ C]$$

$$t_{e2} = 0,72 \cdot (30 - (-15)) + (-15) = 17,9 \, ^\circ C$$

Potřebný průtok čerstvého vzduchu pro odvod vlhkosti v zimním období:

$$V = \frac{188\,000}{(14,3 - 1) \cdot 1,2} = 11\,800 \, m^3/h$$

Následuje smíšení přívodního a cirkulačního vzduchu. Směšovací rovnice pro teplotu a vlhkost:

$$t_{sm} = \frac{t_i \cdot V_i + t_{ZZT} \cdot V_{ZZT}}{V_i + V_{ZZT}} \quad [^\circ C]$$

$$t_{sm} = \frac{30 \cdot 44\,200 + 17,9 \cdot 11\,800}{11\,800 + 44\,200} = 27,4^\circ C$$

$$x_{sm} = \frac{x_i \cdot V_i + x_{ZZT} \cdot V_{ZZT}}{V_i + V_{ZZT}} [^\circ C]$$

$$x_{sm} = \frac{14,3 \cdot 44\,200 + 1,0 \cdot 11\,800}{11\,800 + 44\,200} = 11,5 \text{ g/kg s.v.}$$

Poměr směřování vzduchu: 21% čerstvého vzduchu, 79% cirkulačního vzduchu.

Potřebný výkon ohříváče:

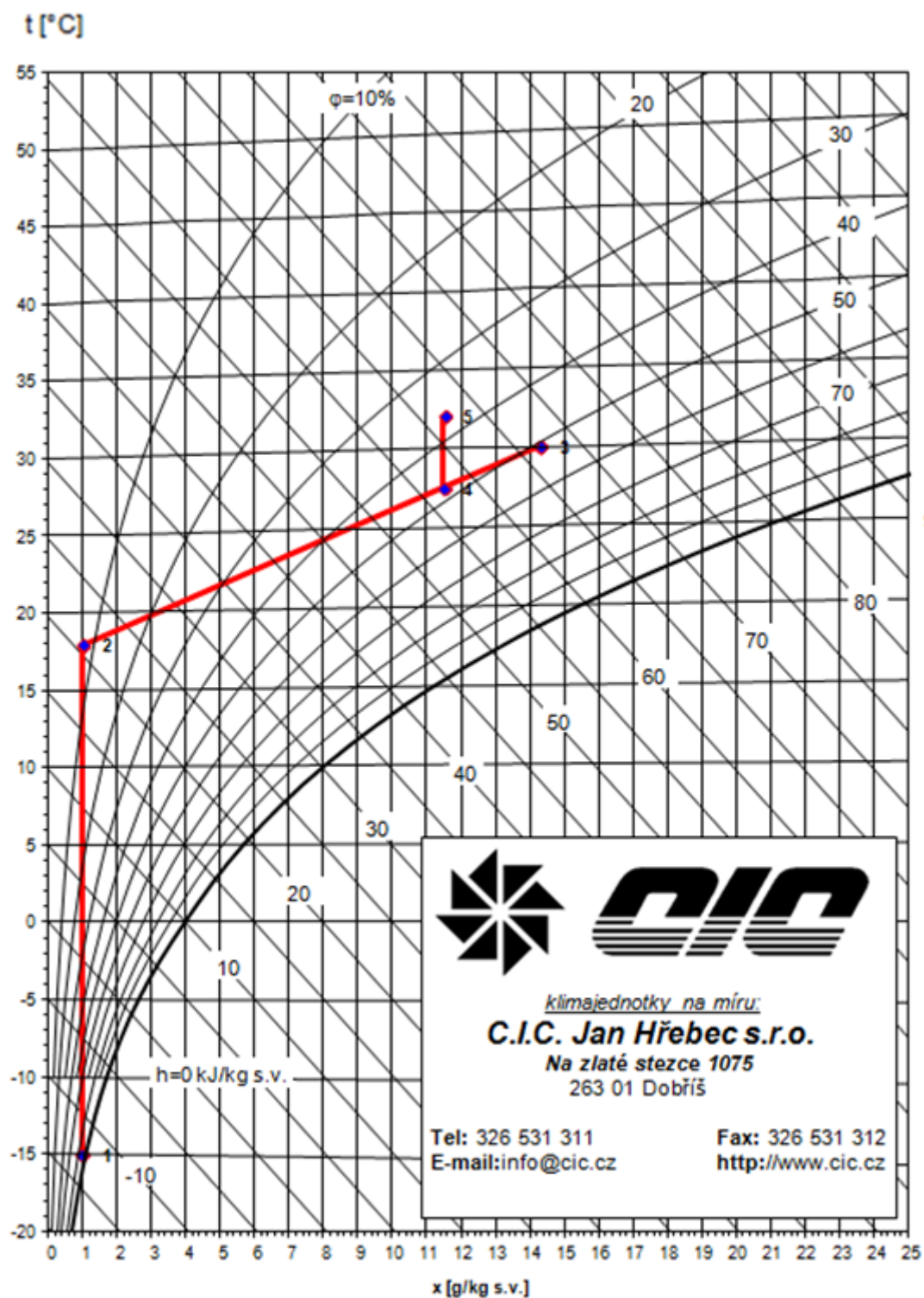
$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t \quad [W]$$

$$Q = 56000 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (32 - 27,4) = 86\,725 \text{ W}$$

### ***Úpravy vzduchu v jednotce v HX diagramu***

Na Obrázek 18 vidíme průběhy změny stavu vzduchu v jednotce při zimním provozním stavu.

- Bod 1 – stav venkovního vzduchu
- Bod 2 – stav vzduchu po zpětném zisku tepla v rekuperátoru
- Bod 3 – stav odvodního vzduchu z interiéru
- Bod 4 – stav vzduchu po smíšení cirkulačního a čerstvého vzduchu
- Bod 5 – stav přívodního vzduchu do místnosti – po ohřátí směsi ve výměníku

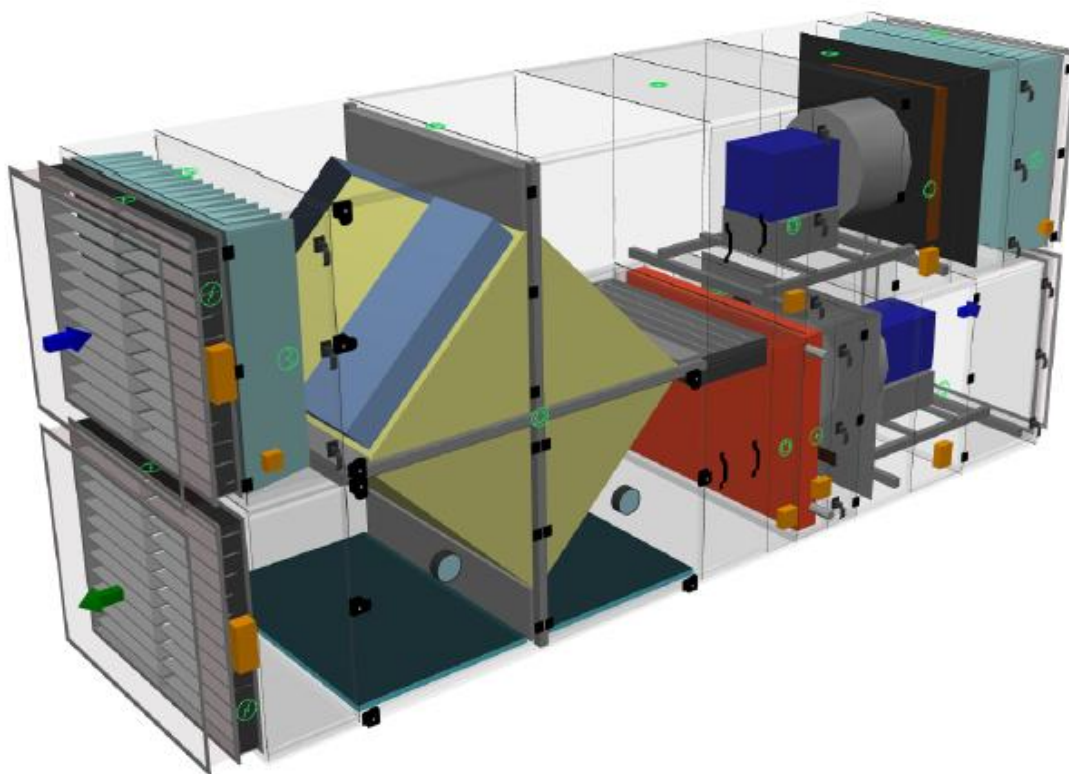


Obrázek 18 Úpravy vzduchu v HX diagramu pro zimní provozní stav jednotky č. 1

### ***Návrh jednotky***

Z prostorových důvodů bylo zařízení rozděleno na dvě stejné jednotky. Jednotka bude vybavena deskovým rekuperátorem pro zpětný zisk tepla s obtokovou klapkou, teplovodním ohřívačem vzduchu a směšovací komorou pro mísení přírodního a cirkulačního vzduchu. Jednotka neobsahuje chladič, tudíž v letním období negarantuje krytí teplotní zátěže. Dále se zde samozřejmě nachází přírodní a odvodní ventilátor, filtry na větvích jednotky nasávaného vzduchu, jak z exteriéru tak z interiéru a regulační klapky. Jedná se o nejjednodušší technické řešení a rovněž nejlevnější variantu z hlediska pořizovacích nákladů.

Jednotka byla navržena v programu AeroCad společnosti Remak. Technická specifikace zařízení bude uvedena pro vybranou variantu v části technické zprávy projektu.



Obrázek 19 Axonometrický pohled na jednotku (varianta č. 1)

### B.3.2 Varianta č. 2

Tato varianta představuje technicky nejdokonalejší skladbu jednotky. Řešení pro bazénové haly které výrobci nabízí jsou často velice sofistikované zařízení, ovládány složitými řídicími algoritmy. Tyto systémy řízení jsou naprogramované pro dosažení požadovaných podmínek na základě aktuální potřeby obsluhovaného prostoru.

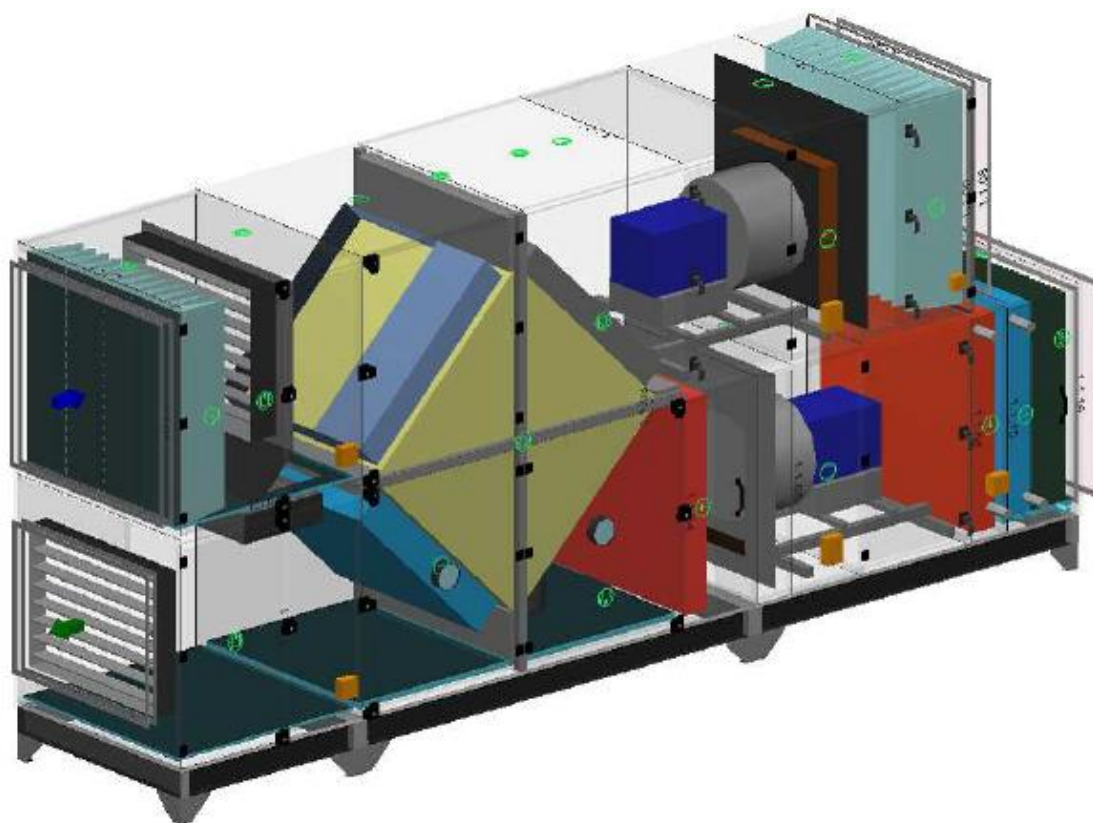
Definováním dříve zvolených a vypočtených hodnot jakožto potřebného odvlhčovacího výkonu jednotky, tepelných zátěží a ztrát, potřeby minimálního průtoku čerstvého vzduchu a návrhových parametrů interiéru i exteriéru mi technikem společnosti Remak bylo nabídnuto odpovídající řešení.

Okamžitá kapacita návštěvníků areálu	230 os
Dávka čerstvého vzduchu na osobu	50 m <sup>3</sup> /h/os
Minimální průtok čerstvého vzduchu	11500 m <sup>3</sup> /h
Průtok přiváděného vzduchu	29500 m <sup>3</sup> /h
Průtok oběhového vzduchu	18000 m <sup>3</sup> /h
Podíl čerstvého vzduchu k přiváděnému	0,39 -
Objem místnosti	4191 m <sup>3</sup>
Výměna vzduchu (čerstvého)	2,7 1/h
Výměna vzduchu celkem	7,0 1/h

Obrázek 20 Souhrn navrženého průtoku vzduchu pro variantu č. 2

Funkční celek byl rozdělen z prostorových důvodů na dvě zařízení. Jedno bude přivádět čerstvý vzduch do štěrbin v podlaze distribuční sítě v 1NP, druhá přivádí vzduch rozvody ve 2NP pod stropem. Obě jednotky se sestávají z deskového rekuperátoru s by-passem a možností směšování, kompresorové jednotky s kondenzátory a výparníky umožňující krom odvlhčení (zchlazením a opětovným ohřátím vzduchu) i ohřev vody v bazénu, sekce umožňující cirkulaci, přívodního a odvodního ventilátoru, filtry třídy M5 se snímači tlakové difference, vodního ohříváče, vodního chladiče a eliminátoru kapek.



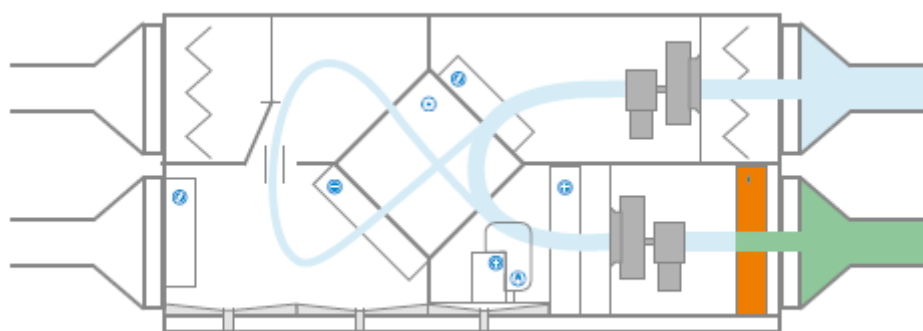


Obrázek 21 Obrázek 8 Axonometrický pohled na jednotku (varianta č. 2)

### ***Provozní stavy***

Jednotka automaticky kombinuje následující provozní režimy dle aktuální potřeby objektu.

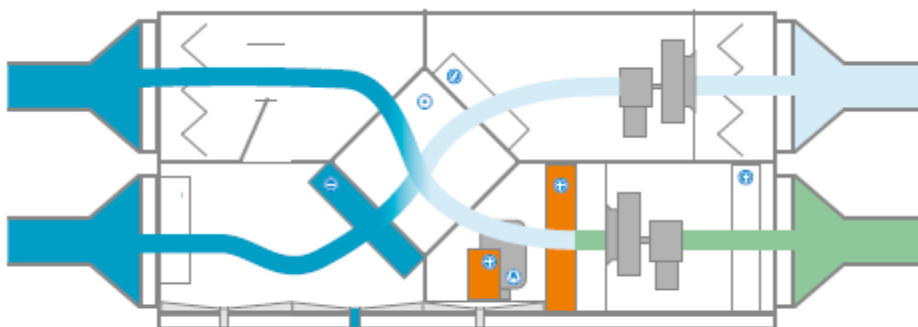
#### ***a) Plně cirkulační režim pro ohřev vzduchu***



Obrázek 22 Režim pro ohřev vzduchu

#### ***b) Větrání a odvlhčování v komfortním režimu***

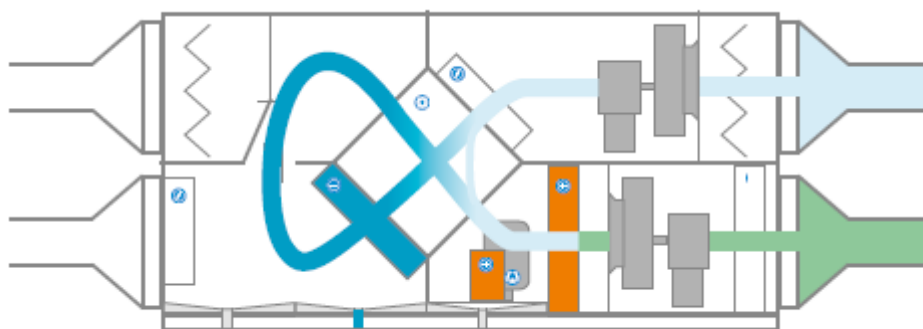
Režim používaný hlavně během provozu bazénu. Cirkulační klapka uzavřena, zvýšení množství větracího vzduchu na maximum, spínání tepelného čerpadla dle požadavku na ohřev vzduchu nebo bazénové vody.



Obrázek 23 Komfortní režim

#### *c) Odvlhčování v útlumovém režimu*

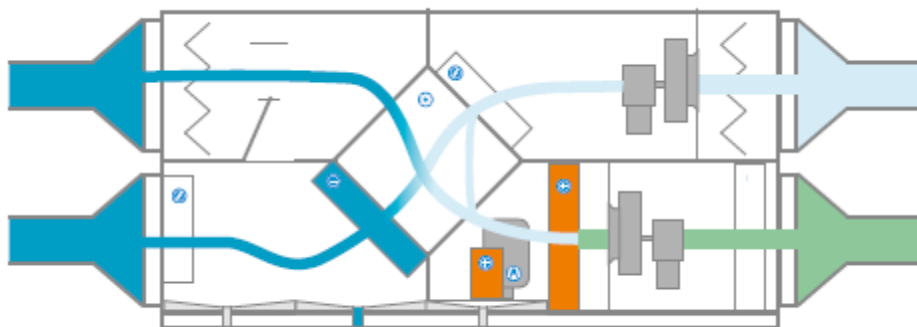
Tento režim se používá zejména pro odvod stálého odparu, mimo provoz bazénu, kdy není zapotřebí přívod čerstvého vzduchu. Odvodní vzduch se předchladí v deskovém rekuperátoru, část vlhkosti zkondenzuje na výměníku, dále odvlhčení proběhne na výparníku tepelného čerpadla. Poté se vzduch opět přehřeje v rekuperátoru a dohřeje na požadovanou teplotu na kondenzátoru.



Obrázek 24 Odvlhčování v útlumovém režimu

#### *d) Větrání a odvlhčování při nižší obsazenosti*

V provozních hodinách s nižší návštěvností není obvykle zapotřebí velké množství čerstvého vzduchu. Dle aktuálního stavu mikroklimatu proto dochází ke směšování cirkulačního a čerstvého vzduchu.



Obrázek 25 Režim větrání se směřováním

#### *e) Letní chlazení a odvlhčování*

V případě potřeby chlazení se nutně nemusí spínat tepelné čerpadlo a teplotní zátěž se kryje provozem vodního chladiče. V mém konkrétním případě se chladič nenachází na odvodní větvi, ale přívodní.



Obrázek 26 Letní režim chlazení

### **B.3.3 Porovnání variant**

Výběr z navržených variant by se odvíjel zejména od požadavku investora na kvalitu prostředí a na ceně, kterou je ochoten za tuto kvalitu zaplatit. Ačkoliv by u varianty č. 1 byly pořizovací náklady nižší, šlo by o jistý kompromis z hlediska poskytovaného komfortu návštěvníkům. Bazénové haly mají velice vysoké provozní náklady, které po několika letech provozu převyšují náklady pořizovací. Proto je zásadní efektivita navrženého řešení.

U varianty č. 1 bylo při dimenzování vycházeno z dostupných klimatologických dat naměřených pro určitý rok. Z důvodu možnosti velikosti průtoku vzduchu se přistoupilo na kompromis s vědomím toho, že několik dní v roce nedokáže zařízení zajistit požadované tepelně-vlhkostní podmínky interiéru. Avšak vzhledem k tomu že každý rok je jiný, výjimečně deštivé počasí a vyšší vlhkost v průběhu celého roku se může vyskytovat častěji než v uvažovaném případě. Proto by bylo i více oněch provozních hodin, na které by zařízení nebylo schopno spolehlivě reagovat. Nicméně stále se jedná o řešení splňující požadavky české legislativy.

Varianta č. 2 dokáže zajistit nesporně vyšší kvalitu vnitřního mikroklimatu bazénové haly v průběhu celého roku. Díky technickým možnostem instalovaných komponent v kombinaci s jejich inteligentním řízením, dokáže jednotka ve výsledku zajistit vysoké úspory právě spojené s provozem vzduchotechnického zařízení.

Z těchto výše zmíněných důvodů bych doporučil zvolit variantu č. 2 a proto budu dále v projektu vycházet z tohoto návrhu tohoto zařízení.

### B.3.4 Technická specifikace zařízení

Stručnou technickou specifikaci jednotky z programu AeroCad přikládám pouze pro vybranou, tedy druhou variantu. Jedná se o dvojici zařízení, z.č. 1 obsluhující oblast plaveckého bazénu ( $V_p=15\,300\text{ m}^3/\text{h}$ ) a z.č. 2 obsluhují oblast relaxačního a dětského bazénu ( $V_p=14\,200\text{ m}^3/\text{h}$ ). Celkový průtok větracího vzduchu je tedy  $V_p = 29\,500\text{ m}^3/\text{h}$ . Jednotky jsou složením a rozměrově stejné, grafické pohledy tedy odpovídají pro obě jednotky.

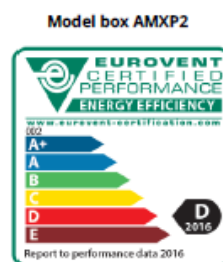
#### STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

##### Základní parametry zařízení

Druh, rozměr	AeroMaster XP 22 Pool	
Řídicí jednotka VCS (Climatix)	Ano	
Hmotnost (+10%)	3 097 kg	
Umístění VZT jednotky	Vnitřní	
Materiálové provedení		
Vnější plášť	Komaxitovaný plech (RAL 3020)	
Vnitřní plášť	Komaxitovaný plech (RAL 3020)	

	Přívod	Odvod
Průtok vzduchu	15300 m <sup>3</sup> /h	15300 m <sup>3</sup> /h
Externí tlaková rezerva	350 Pa	350 Pa
Rychlost v průřezu	2.75 m/s	2.75 m/s
Výkon motoru nominální	11.00 kW	7.50 kW
Typ motoru ventilátoru	AC motor	AC motor
Frekv. měnič součást dodávky	Ano (IP21)	Ano (IP21)
1. stupeň filtrace	M5	M5
2. stupeň filtrace	-	-
SFP <sub>1</sub>	1635 W.m <sup>-3</sup> .s	1168 W.m <sup>-3</sup> .s

	Parametry pláště dle EN1886	
Nominální příkon ŘJ VCS	24.70 kW*	Mechanická stabilita D2(M)
Napájecí napětí ŘJ VCS	3×400V+N+PE 50Hz	Netěsnost skříně L1(M)
Nominální proud ŘJ VCS I <sub>max</sub>	70 A*	Netěsnost skříně (reál. jednotka) L3(R) @ -400Pa, L3(R) @ +400Pa
		Termická izolace T3(M)
SFP <sub>AHU</sub>	2802 W.m <sup>-3</sup> .s	Faktor tepelných mostů TB3(M)
Odvlhčovací výkon	96.86 kg/h	Netěsnost mezi filtrem a rámem < 0,5 % (F9)



\* Nominální příkon a proud je uveden bez zahrnutí vyvíječe páry, případně bez externí kondenzační jednotky/tepelného čerpadla apod. Pokud dále ve specifikaci ŘJ není uvedeno jinak, tyto zařízení musí být jistěny a napájeny mimo ŘJ VCS. Řídicí signály pro jejich ovládání (v případě, že tyto zařízení jsou příslušenstvím VZT jednotky) mohou být řešeny z ŘJ VCS, viz dále konfigurace řídicího systému, kde je typ řídicích signálů specifikován.

##### Nejdůležitější parametry vybraných komponentů

	Na straně vzduchu		Na straně média	
Zpětný zisk tepla	-15.0 → 17.2 °C	72 %, 79.0 kW		
Směšování	17.2 → 23.6 °C	50.0 / 0.0 %		
Ohřev	20.0 → 35.0 °C	73.7 kW	70/49 °C, Voda, 1.0 kPa, 3.13 m <sup>3</sup> /h, 2 "	
Chlazení	32.0 → 25.0 °C	39.6 kW	6/14 °C, Voda, 2.4 kPa, 4.47 m <sup>3</sup> /h, 2 "	
Kompresor (příkon max.)		8.21 kW	Freon R407C (Mix)	

*Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení*

##### Hlukové parametry zařízení

	LwA <sub>okt</sub> [dB]								ZLwA [dB(A)]
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Přívod - sání	37	55	63	61	62	58	54	49	68
Přívod - výtlač	49	62	73	80	83	77	72	65	86
Přívod - okolí	42	48	56	56	56	52	50	38	62
Odvod - sání	38	65	69	71	73	70	68	65	78
Odvod - výtlač	43	63	66	74	74	68	65	58	78
Odvod - okolí	38	51	53	55	54	49	49	38	60

## STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

### Základní parametry zařízení

Druh, rozměr	AeroMaster XP 22 Pool
Řídicí jednotka VCS (Climatix)	Ano

### Model box AMXP2



Hmotnost (+/-10%)	3 034 kg
Umístění VZT jednotky	Vnitřní
Materiálové provedení	
Vnější plášť	Komaxitovaný plech (RAL 3020)
Vnitřní plášť	Komaxitovaný plech (RAL 3020)

	Přívod	Odvod
Průtok vzduchu	14200 m³/h	14200 m³/h
Externí tlaková rezerva	350 Pa	350 Pa
Rychlost v průřezu	2.55 m/s	2.55 m/s
Výkon motoru nominální	7.50 kW	5.50 kW
Typ motoru ventilátoru	AC motor	AC motor
Frekv. měnič součást dodávky	Ano (IP21)	Ano (IP21)
1. stupeň filtrace	M5	M5
2. stupeň filtrace	-	-

SFP <sub>1</sub>	1466 W.m³.s	1096 W.m³.s
------------------	-------------	-------------

### Parametry pláště dle EN1886

Nominální příkon ŘJ VCS	17.67 kW *	Mechanická stabilita	D2(M)
Napájecí napětí ŘJ VCS	3x400V+N+PE 50Hz	Netěsnost skříně	L1(M)
Nominální proud ŘJ VCS I <sub>max</sub>	63 A *	Netěsnost skříně (reál. jednotka)	L3(R) @ -400Pa, L3(R) @ +400Pa
SFP <sub>AKU</sub>	2562 W.m³.s	Termická izolace	T3(M)
Odvlhčovací výkon	89.90 kg/h	Faktor tepelných mostů	TB3(M)
		Netěsnost mezi filtrem a rámem	< 0,5 % (F9)

\* Nominální příkon a proud je uveden bez zahrnutí vyvíječe páry, případně bez externí kondenzační jednotky/tepelného čerpadla apod. Pokud dále ve specifikaci ŘJ není uvedeno jinak, tyto zařízení musí být jštěny a napájeny mimo ŘJ VCS. Řídicí signály pro jejich ovládání (v případě, že tyto zařízení jsou příslušenstvím VZT jednotky) mohou být řešeny z ŘJ VCS, viz dále konfigurace řídicího systému, kde je typ řídicích signálů specifikován.

### Nejdůležitější parametry vybraných komponentů

	Na straně vzduchu		Na straně média
Zpětný zisk tepla	-15.0 → 17.4 °C	72 %, 74.0 kW	
Směšování	17.4 → 23.7 °C	50.0 / 0.0 %	
Ohřev	20.0 → 35.0 °C	68.4 kW	70/49 °C, Voda, 0.8 kPa, 2.79 m³/h, 2 "
Chlazení	32.0 → 25.0 °C	35.7 kW	6/14 °C, Voda, 1.8 kPa, 3.82 m³/h, 2 "
Kompresor (příkon max.)		6.12 kW	Freon R407C (Mix)

Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení

### Hlukové parametry zařízení

	LwA <sub>okt</sub> [dB]								ΣLwA [dB(A)]
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Přívod - sání	35	57	62	60	62	57	52	47	67
Přívod - výtlač	48	63	71	78	82	75	70	63	84
Přívod - okolí	41	49	54	54	55	50	48	36	60
Odvod - sání	37	63	66	70	73	69	66	63	77
Odvod - výtlač	43	61	64	72	73	67	63	56	77
Odvod - okolí	38	49	52	53	53	48	47	36	59

ID nabídky  
Projekt  
Číslo / Název zařízení  
Určení jednotky

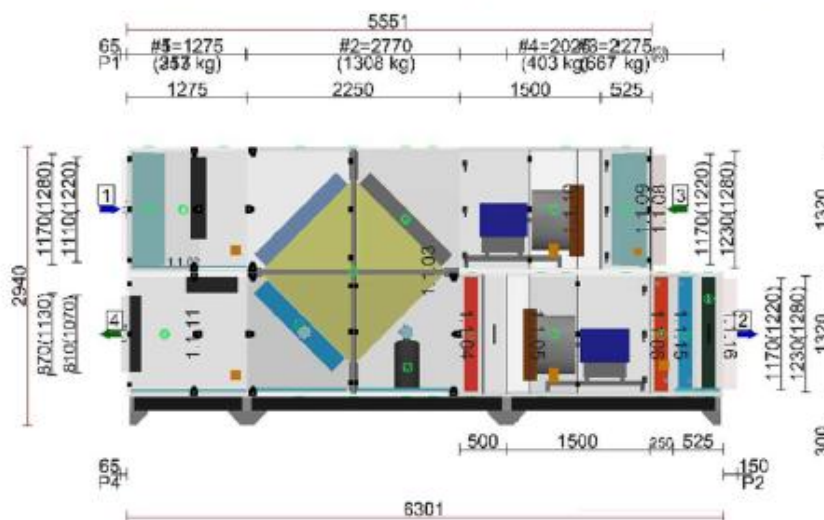
[ Bazénová jednotka ] Bazénová jednotka  
1.1 / Zařízení č.1 - 15300 m<sup>3</sup>/h, Plavecký bazén  
Bazénové haly



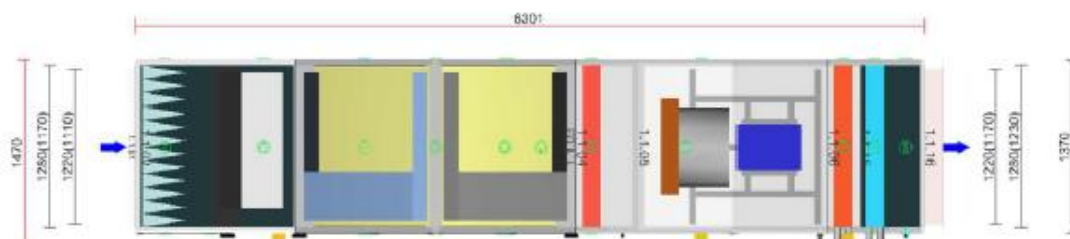
## GRAFICKÉ POHLEDY

### Bokorys servisní strany

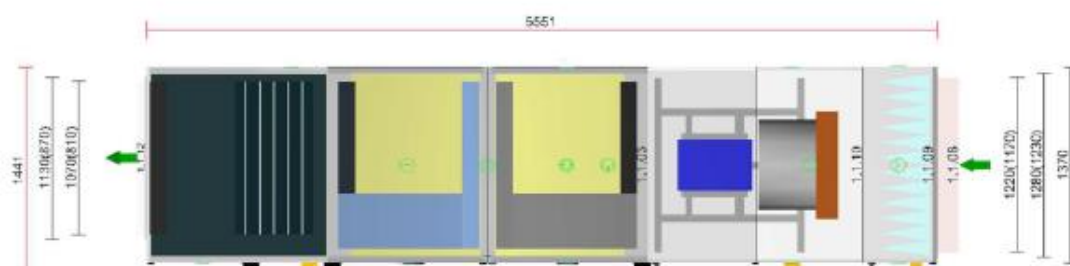
Číslování větví: 1 - venkovní vzduch, 2 - přírodní vzduch, 3 - odtahový vzduch, 4 - odpadní vzduch, 5 - cirkulační vzduch



### Půdorys přírodní větve



### Půdorys odtahové větve





## B.4 Distribuce vzduchu

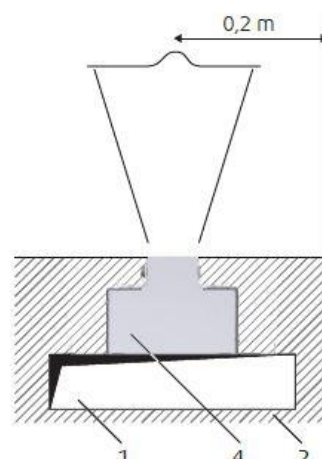
Vhodnou volbou a uspořádáním distribučních elementů by se mělo dosáhnout zejména spolehlivého odvodu trichloraminu z hladiny bazénů, zamezení vzniku kondenzace na studených površích stavebních konstrukcí a přívodu čerstvého vzduchu do oblasti pobytové. Dále je uveden výběr distribučních elementů a posouzení několika vybraných z nich.

### Přívodní vyústky

Pro zamezení vzniku kondenzace na velkých prosklených plochách jejich ofukováním byly navrženy bazénové štěrbinové vyústě. Ty jsou instalovány do parapetu pod velkoplošná okna. Konkrétně byly zvoleny vyústky výrobce Systemair typu BS, s třemi štěrbinami o šířce 12mm s průtokem  $450 \text{ m}^3/\text{h}$  na 1m délky štěrbin. Technické řešení viz Obrázek 31.



Obrázek 27 Štěrbinová výust' BS-3 s plenum boxem BX

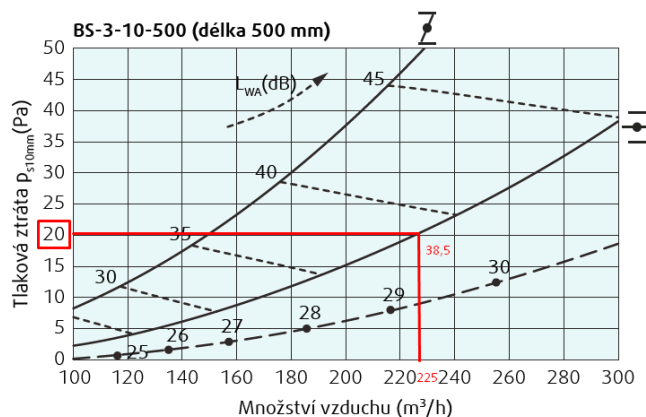


Obrázek 28 Způsob instalace

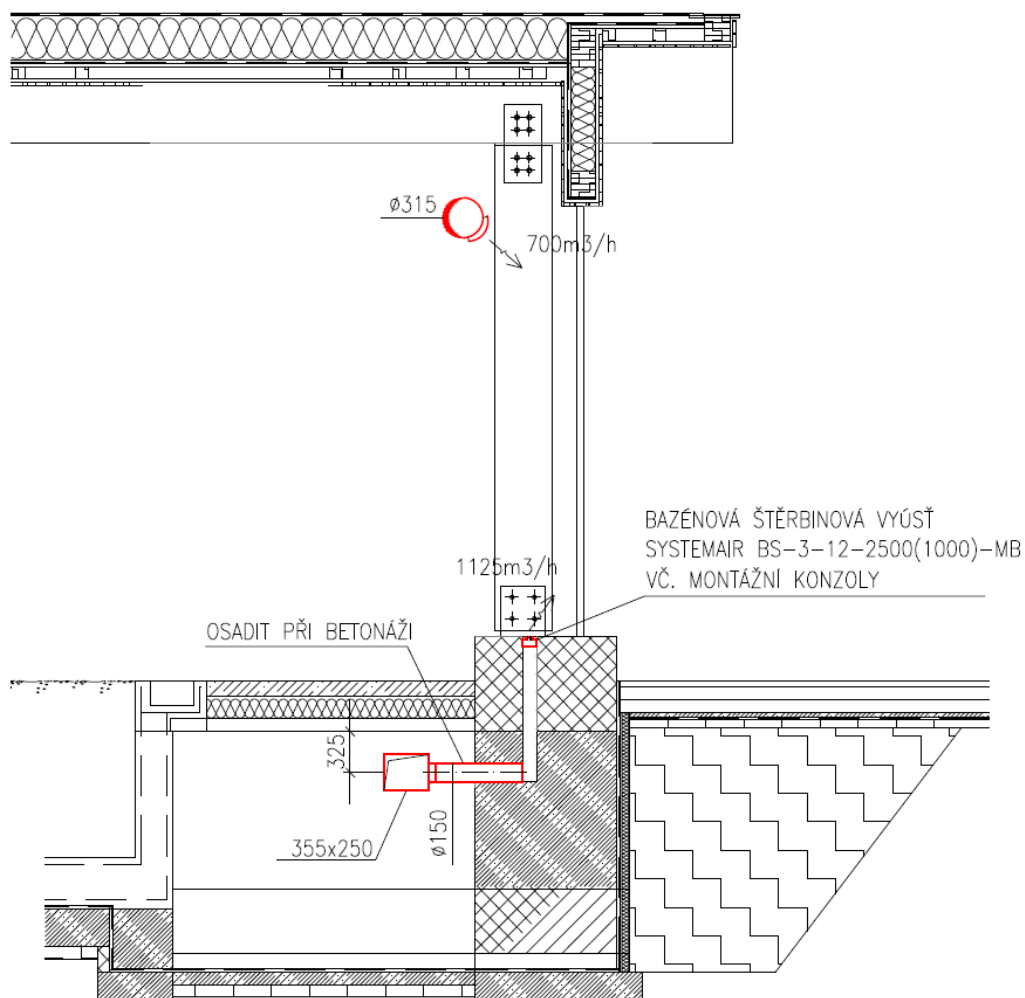
(1 - potrubí, 2 - beton, 4 - konzola MB)

Počet štěrbin (ks)	Šířka štěrbin		
	8	10	12
	(m <sup>3</sup> /h)		
BS-1	70 – 120	90 – 150	110 – 180
BS-2	150 – 240	180 – 300	210 – 360
BS-3	210 – 360	270 – 450	320 – 550

Obrázek 29 Návrh typu štěrbin dle doporučeného průtoku



Obrázek 30 Tlaková ztráta a hladina akustického výkonu pro BS-3

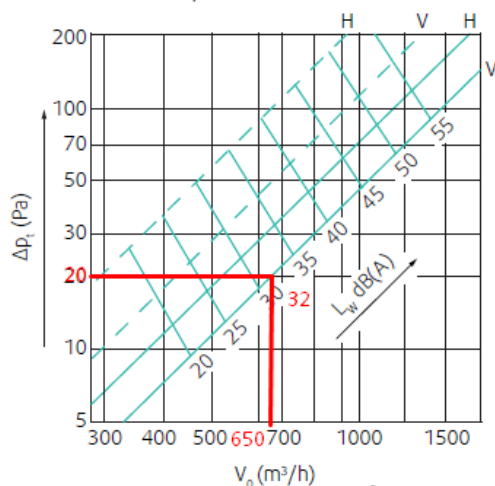


Obrázek 31 Detail instalace štěrbinové vyústky

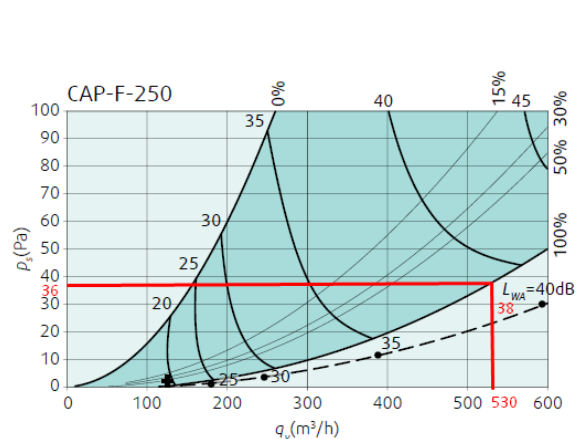
Bazénová hala má různé výšky podhledů a někde se podhled dokonce nevyskytuje vůbec. Proto se i ostatní distribuční prvky přírodního vzduchu liší. V místech sníženého podhledu byly zvoleny vířivé anemostaty, ale v oblasti zvýšeného podhledu (u plaveckého bazénu) by tyto vyústky nedostačovaly z hlediska dosahu proudu do zóny pobytu přijatelnou rychlostí. Proto byly v těchto místech nahrazeny tryskovými difuzory, které nabízejí větší dosah proudu vzduchu. U relaxačního bazénu je potrubí přiznané, vzduch se odvádí (a i část přivádí) vyústkami do kruhového potrubí. Byly navrženy konkrétní výrobky od společnosti Systemair a to: Přírodní vířivý anemostat VVKR-A-S-600-48-B, vč. plenum boxu a tryskový difúzor CAP-F-250 vč. plenum boxu.



VVKR - A - 600 × 48, 625 × 48



Obrázek 33 Tlaková ztráta a hladina akustického výkonu pro přívodní anemostat VVKR

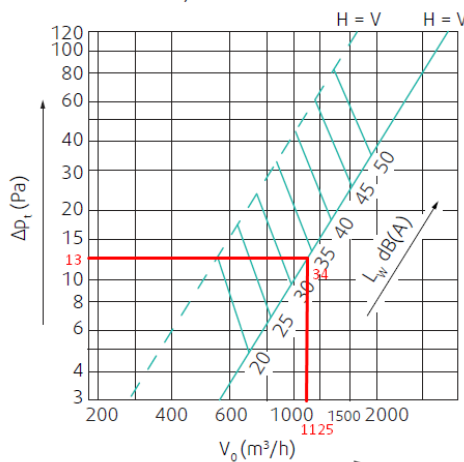


Obrázek 32 Tlaková ztráta a hladina akustického výkonu pro tryskový difúzor CAP-F vč. plenum boxu THOR

## Odvodní vyústky

Pro odvod znehodnoceného vzduchu byly zvoleny vířivé anemostaty v celé hale kde se nachází podhled, rovněž v kombinaci s vyústkami do přiznaného kruhového potrubí tam, kde se podhled nenachází.

VVKR - A - 600 × 48, 625 × 48



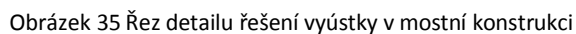
Obrázek 34 Tlaková ztráta a hladina akustického výkonu pro odvodní anemostat bez lamel

## Průplav do exteriéru

V oblasti průplavu z relaxačního bazénu do exteriérové atrakce "divoká řeka" byla navržena plastová šterbinová výúst zabudovaná do konstrukce mostu překlenujícího průplav. U sloupu bude svedeno z páteřního rozvodu vertikální potrubí které bude zaústěno do železobetonové desky mostu. Tam bude zpřechodováno na plastové potrubí vedoucí k na míru vyrobené plastové šterbině.

Tato šterbina tvoří po celé šířce průplavu clonu teplého vzduchu která omezuje vnik proudění chladného vzduchu hlouběji do interiéru. Průtok touto šterbinou bude 1000m³/h při výtokové

Plastové materiálové řešení je voleno pro zamezení koroze potrubí a distribučního elementu ve velice náročných podmínkách. Stavebně technické řešení, kdy se částečně zamezuje průniku venkovního vzduchu plastovými lamelami ve dvou řadách zůstává. Instalovaná výúst se nachází před první řadou těchto lamel ze strany interiéru. Důvody této instalace v kritickém místě jsou podrobně probrány v experimentální části této práce.



## B.5 Technická zpráva

### ÚVOD

Předmětem této projektové dokumentace byl návrh vzduchotechniky pro bazénovou halu wellness centra na úrovni dokumentace pro stavební povolení.

### POPIS ZADANÉHO OBJEKTU

Jedná se o areál wellness centra ležícího v Bruntále, objekt má dvě nadzemní podlaží a strojovnu vzduchotechniky na střeše 2NP.

Do budovy se vstupuje na úrovni 1NP, kde se nachází restaurace, fitness centrum s příslušným hygienickým zázemím, prodejna a technické zázemí bazénů.

V 2NP je potom samotná bazénová hala, z níž je umožněn přístup na venkovní terasu za objektem. Dále se zde nachází šatny s hygienickým zázemím a parní saunou, restaurace - tzv. mokrý bar a administrativa.

V bazénové hale se nalézají dvě vířivky a tři bazény, a to pětadvacetimetrový plavecký, dětský a relaxační bazén. Relaxační bazén je průplavem spojen s vodní atrakcí v exteriéru, tzv. divokou řekou. Z bazénové haly je přístup do oddělené tobogánové věže.

### PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ

Podkladem pro zpracování byla výkresová dokumentace (půdorysy a řezy) stavebního řešení objektu spolu s požadavky investora.

Součástí podkladů jsou příslušné zákony a prováděcí vyhlášky, České a zahraniční technické normy, a podklady výrobců vzduchotechnických zařízení:

- Vyhláška č. 238/2011 Sb., O stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.
- Vyhláška č. 6/2003 Sb. Hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- Předpis č. 272/2011 Sb. – Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- ČSN EN 15251/2011 – Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení
- ČSN 73 0540 – Tepelná ochrana budov
- ČSN 01 3454 – Technické výkresy – Instalace – Vzduchotechnika, klimatizace
- ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- ČSN EN 12 831 – Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu
- ČSN 73 0808 – Požární bezpečnost budov
- VDI 2089 – Technické vybavení budov plováren, kryté bazény
- AeroCAD – program pro návrh vzduchotechnických jednotek firmy Remak

- Teruna – program pro výpočet odparu z vodní hladiny
- Systemair – podklady výrobce

## VÝPOČTOVÉ HODNOTY KLIMATICKÝCH POMĚRŮ

Návrhové podmínky	Exteriér		
	Léto	Přechod. Období	Zima
Teplota [°C]	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>-15</b>
Relativní vlhkost [%]	43	89	94
Měrná vlhkost [g/kg s.v.]	12	12,8	<b>1</b>
Entalpie [kJ/kg]	<b>61</b>	<b>51,6</b>	-12,7

## VÝPOČTOVÉ HODNOTY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Návrhové podmínky	Interiér
Teplota [°C]	<b>30</b>
Relativní vlhkost [%]	52
Měrná vlhkost [g/kg s.v.]	<b>14,3</b>
Entalpie [kJ/kg]	66,9

Rychlost proudění v pobytové zóně max. 0,2m/s.

## ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Objekt byl z hlediska účelu a funkce prostor a jejich umístění rozdělen celkem do 8 funkčních celků. Každá z těchto zón bude obsluhována jedním vzduchotechnickým zařízením. Tato projektová dokumentace se zabývá pouze návrhem vzduchotechnického zařízení pro bazénovou halu a její bezprostředně funkčně spojené okolí. V rámci ideového řešení provedu koncepční návrh ostatních funkčních celků.

### *Zař. č. 1 - Bazénová hala + mokrý bar*

Účelem tohoto zařízení je zejména spolehlivý odvod produkované vlhkosti z bazénové haly a s tím spojená ochrana budovy před nežádoucími vlivy působení vodních par na konstrukce. Samozřejmě také musí zajistit tepelný komfort návštěvníků, zaměstnanců a bezpečný odvod bazénové chemie z okolí vodních ploch. K samotné bazénové hale je do funkčního celku přiřčen také tzv. mokrý bar - občerstvení přístupné v plavkách bezprostředně z okolí bazénů. Větrání v bazénové hale je mírně podtlakové, úhrada přívodního vzduchu z přiřčeného mokrého baru.

Jednotka obsahuje tepelné čerpadlo pro efektivní odvod produkce vlhkosti bazénů. V létě toto zařízení kryje tepelnou zátěž, pomocí vodního chladiče nebo tepelného čerpadla, dle vyhodnocení potřeby řídicím algoritmem.

Bazénová hala je teplovzdušně vytápěna. Z důvodu komfortu návštěvníků je v okolním prostoru bazénů instalováno podlahové vytápění (řeší profese ÚT), které vytápí podlahu na teplotu povrchu 30°C. Nekryje tedy tepelnou ztrátu objektu, pouze eliminuje ztrátu podlahou.

Zařízení bude z prostorových důvodů rozděleno na dvě vzduchotechnické jednotky, ty budou umístěny ve strojovně vzduchotechniky na střeše 2NP.

#### *Zař. č. 2 - Šatny + hygienické zázemí*

Obsluhuje jak mužské tak ženské šatny, hygienické zázemí a sprchy přidružené k bazénové hale. Průtok vzduchu nadimenzován dle počtu šatních míst. Distribuce čerstvého vzduchu v místnosti šaten, podtlakově odvod znehodnoceného vzduchu ze sprch a toalet.

V místech mužských šaten je k zóně přidružena rovněž plavčíkárna. Zařízení se bude nacházet v prvním podlaží v technické místnosti, pod stropem vedeny páteřní rozvody k místu ženských a mužských šaten, poté instalační šachtou stoupacím potrubím do 2NP. Toto zařízení bude zabezpečovat pouze nucenou výměnu vzduchu a krýt tepelnou ztrátu větráním, vytápění prostor budou zajišťovat radiátory, řeší profese ÚT.

#### *Zař. č. 3 - Administrativa + recepce*

Toto zařízení bude v 1NP větrat vstupní halu a přilehlé chodby a hygienické zázemí a recepci. V druhém podlaží potom rovněž chodby vedoucí k šatnám a také menší administrativní část objektu s dvěma místnostmi a zázemím. Jednotka bude vybavena rekuperátorem pro zpětný zisk tepla a bude umístěna v technické místnosti v 1NP. Toto zařízení bude zabezpečovat pouze nucenou výměnu vzduchu a krýt tepelnou ztrátu větráním, vytápění prostor budou zajišťovat radiátory profese topení. Profese chlazení zajistí odvod tepelné zátěže kanálovými fan-coil jednotkami umístěnými v podhledu.

#### *Zař. č. 4 - Tobogán*

Zvlášť zařízení bude obsluhovat tobogánovou věž a dojezd tobogánu na úrovni 2NP. Tato věž z objektu vertikálně vyčnívá a to až do úrovně 5NP, půdorysně se jedná takřka pouze o schodišťový prostor. Samostatné zařízení pro tento prostor je vyčleněno právě z důvodu odděleného stavebního řešení, samotný tubus tobogánu vede mimo objekt a je nezateplený. Dá se zde tedy předpokládat odlišné chování prostoru od bazénové haly. Dojezd tobogánu i vstup na schodiště je sice přístupné přímo z bazénové haly, ale je oddělen lehkou příčkou se samouzavíracími dveřmi. Toto zařízení bude zabezpečovat nucenou výměnu vzduchu, krytí tepelné zátěže věže instalovaným vodním chladičem a krýt tepelnou ztrátu větráním, vytápění prostor budou zajišťovat radiátory, řeší profese ÚT.

#### *Zař. č. 5 - Tělocvična*

Jednotka bude obsluhovat tzv. fitness centrum, nebo-li tělocvičnu, masážní místnost a příslušné menší hygienické zázemí s šatnami. Toto zařízení bude zabezpečovat nucenou výměnu vzduchu a krýt tepelnou ztrátu větráním, vytápění prostor budou zajišťovat radiátory, řeší profese ÚT. Profese chlazení zajistí odvod tepelné zátěže kanálovými fan-coil jednotkami umístěnými v podhledu.

#### *Zař. č. 6 - Restaurace*

Pro restauraci v 1NP je vyhrazeno samostatné zařízení zejména z důvodu možnosti šíření odérů z gastro provozu. Kuchyň bude větraná podtlakově, budou zde instalovány odsávací digestoře s odlučovači tuků. K této zóně je přiřazen i sklad surovin, příslušné hygienické zázemí a malá administrativní místnost patřící k restauraci. Toto zařízení bude zabezpečovat nucenou výměnu vzduchu a kryt tepelnou ztrátu větráním, vytápění prostor budou zajišťovat radiátory, řeší profese ÚT. Profese chlazení zajistí odvod tepelné zátěže kanálovými fan-coil jednotkami umístěnými v podhledu.

#### *Zař. č. 7 - Prodejna*

Tato zóna je od objektu oddělena jak provozně, tak stavebně. Vstup do prodejny je proveden z exteriéru a nijak tento prostor spojen s wellness centrem není. Předpokládá se zde nájemní prostor. Z těchto důvodů je pro prodejnu vyhrazeno samostatné zařízení, to bude zabezpečovat pouze nucenou výměnu vzduchu a kryt tepelnou ztrátu větráním. Bude umístěno v technické místnosti v 1NP. Vytápění prostor budou zajišťovat radiátory, řeší profese ÚT.. Profese chlazení zajistí odvod tepelné zátěže kanálovými fan-coil jednotkami umístěnými v podhledu.

#### *Zař. č. 8 - Technické zázemí*

Ačkoliv je celý objekt zasazen do terénu a technické zázemí je tudíž prostorově z jihozápadu omezeno, stále prostor zabírá většinu půdorysné plochy prvního nadzemního podlaží. Nachází se zde technologie bazénů, druhá strojovna vzduchotechniky, kotelna, zázemí pro správce budovy apod. Vzduchotechnická jednotka obsluhující tento prostor bude umístěna právě zde, s ostatními jednotky které obsluhují funkční celky nacházející se v 1NP. Toto zařízení bude zabezpečovat nucenou výměnu vzduchu a kryt tepelnou ztrátu větráním, vytápění prostor budou zajišťovat radiátory, řeší profese ÚT.

### **HYGIENICKÉ VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE**

Uvažovaná dávka čerstvého vzduchu na osobu je  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ . Kapacita bazénové haly odvíjející se od kapacity vodních ploch byla stanovena na 230 osob, minimální průtok čerstvého vzduchu tedy  $11500 \text{ m}^3/\text{h}$ . To odpovídá intenzitě výměny vzduchu 2,7/h, jednotky tedy splňují požadavky na hygienické větrání.

Okamžitá kapacita návštěvníků areálu	230 os
Dávka čerstvého vzduchu na osobu	50 m <sup>3</sup> /h/os
Minimální průtok čerstvého vzduchu	11500 m <sup>3</sup> /h
Průtok přiváděného vzduchu	29500 m <sup>3</sup> /h
Průtok oběhového vzduchu	18000 m <sup>3</sup> /h
Podíl čerstvého vzduchu k přiváděnému	0,39 -
Objem místnosti	4191 m <sup>3</sup>
Výměna vzduchu (čerstvého)	2,7 1/h
Výměna vzduchu celkem	7,0 1/h

## ENERGETICKÉ ZDROJE

### *Elektrická energie*

Elektrická energie pro provoz elektromotorů vzduchotechnických zařízení bude soustava 3x400V/50 Hz, PEN.

### *Tepelná energie*

Pro ohřev vzduchu v tepelných výměnících VZT jednotek bude sloužit topná voda o teplotním spádu 70/50. Bude instalován kondenzační kotel v technickém zázemí v 1NP. Dodávku topné vody řeší profese ÚT.

Pro chlazení vzduchu ve výměnících VZT jednotek bude sloužit chladicí voda o teplotním spádu 6/14. Tu bude zajišťovat vzduchem chlazená kondenzační jednotka umístěná na střeše objektu. Řeší profese chlazení.

## POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Funkční celek byl rozdělen z prostorových důvodů na dvě zařízení. Jedno bude přivádět čerstvý vzduch do štěrbin v podlaze distribuční sítě v 1NP, druhá přivádí vzduch rozvody ve 2NP pod stropem. Obě jednotky se sestávají z deskového rekuperátoru s by-passem a možností směšování, kompresorové jednotky s kondenzátory a výparníky umožňující krom odvlhčení (zchlazením a opětovným ohřátím vzduchu) i ohřev vody v bazénu, sekce umožňující cirkulaci, přívodního a odvodního ventilátoru, filtry třídy M5 se snímači tlakové difference, vodního ohříváče, vodního chladiče a eliminátoru kapek.

Bazénová hala má různé výšky podhledů a někde se podhled dokonce nevyskytuje vůbec. Proto se i ostatní distribuční elementy přívodního vzduchu liší. V místech sníženého podhledu byly zvoleny vířivé anemostaty, v oblasti zvýšeného podhledu (u plaveckého bazénu) tryskové difuzory, které nabízí větší dosah proudu vzduchu. U relaxačního bazénu je potrubí přiznané, vzduch se tedy přivádí vyústkami do kruhového potrubí. Pro odvod znehodnoceného vzduchu byly zvoleny vířivé anemostaty v celé hale kde se nachází podhled, rovněž v kombinaci s vyústkami do přiznaného kruhového potrubí tam, kde se podhled nenachází.

Distribuce vzduchu bude zabezpečena spiro a čtyřhranným potrubím z pozink. oceli příslušných rozměrů, velké části je potrubí umístěno v podhledu. Koncové elementy zabudované v podhledu budou dopojeny izolovanou ohebnou hadicí.

V oblasti průplavu z relaxačního bazénu do exteriérové atrakce "divoká řeka" byla navržena plastová štěrbinová výust zabudovaná do konstrukce mostu překlenujícího průplav. U sloupu bude svedeno z páteřního rozvodu vertikální potrubí které bude zaústěno do železobetonové desky mostu. Tam bude zpřechodováno na plastové potrubí vedoucí k na míru vyrobené plastové štěrbině.

## **NÁROKY NA ENERGIE**

K zajištění chodu větracích a klimatizačních zařízení je třeba zabezpečit zdroje energií, viz. technická specifikace vzduchotechnických jednotek.

## **MĚŘENÍ A REGULACE**

Navržené systémy VZT budou řízeny a regulovány samostatným systémem měření a regulace – profese MaR :

- ovládání chodu ventilátorů
- regulace teploty vzduchu řízením výkonu teplovodního ohřívače v zimním období
- regulace teploty vzduchu řízením výkonu vodního chladiče v letním období
- regulace vlhkosti vzduchu řízením výkonu tepelného čerpadla
- protimrazová ochrana deskového výměníku nastavováním obtokové klapky
- ovládání uzavíracích klapek na jednotce včetně dodání servopohonů
- protimrazová ochrana teplovodního výměníku
- signalizace bezporuchového chodu ventilátorů pomocí diferenčního snímače tlaku
- snímání a signalizace zanesení filtrů
- poruchová signalizace
- snímání signalizace chodu, poruchy a zapnutí a vypnutí zdroje chladu
- regulace požárních a regulačních klapek

## **NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE**

### ***Stavební úpravy***

- Instalační šachty pro VZT potrubí
- Betonový základ pro vzduchotechnické jednotky
- Prostupy skrz svislé stavební konstrukce
- Obložení a dotěsnění prostupů VZT
- Zřízení revizních otvorů

### ***Silnoproud***

- Připojení VZT jednotek
- Napojení rozvaděče MaR

### ***Vytápění***

- Připojení ohřívačů vzduchotechnických zařízení na zdroj tepla

### ***Chlazení***

- Připojení chladičů VZT jednotek na zdroj chladu

### ***Zdravotní technika***

- Odvod kondenzátu



## **PROTIHLUKOVÁ A PROTITŘESOVÁ OPATŘENÍ**

- Do VZT potrubí ve strojovně jsou vloženy tlumiče
- Rozvody potrubí jsou k VZT jednotkám připojeny pomocí tlumících vložek
- Veškeré točivé stroje budou pružně uloženy.

## **IZOLACE A NÁTĚRY**

Veškerá přívodní potrubí v podhledu jsou izolována tepelnou izolací tloušťky 40mm. Odvodní potrubí nacházející se mimo bazénovou halu rovněž izolována tepelnou izolací tloušťky 40mm. Ve strojovně jsou veškeré rozvody VZT potrubí před tlumiči hluku izolovány hlukovou izolací tloušťky 60mm.

## **PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ**

Strojovna VZT a instalační šachta pro průchod z 2NP do 1NP je samostatný požární úsek. Veškeré vzduchotechnické potrubí procházející stavební konstrukcí ohraničující tyto úseky jsou opatřeny požární klapkou.

## **MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ**

Instalace VZT zařízení je provedena proškolenými pracovníky. Před uvedením do provozu potřeba provést vstupní kontrola a proškolení obsluhy. Technika musí být pravidelně kontrolována a čištěna.

## **ZÁVĚR**

Navržený vzduchotechnický systém vyhovuje požadavkům investora a splňuje předepsané hodnoty na hygienické požadavky.

## C. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

### C.1 Úvod do problematiky

Na základě stížností návštěvníků proběhlo v objektu Wellness centra Bruntál krátkodobé i dlouhodobé měření, které si dává za cíl popsat vzniklý problém a případně navrhnout vhodné řešení.

Jedná se o stížnosti na chlad a průvan návštěvníků nacházejících se v rekreačním bazénu (3) (viz Obrázek 37), zejména v bezprostřední blízkosti průplavu mezi bazénovou halou, tedy interiérem a divokou řekou (4) nacházející se v exteriéru.



Obrázek 37 Schéma areálu Wellness centra Bruntál, červeně vyznačena kritická oblast

Přechod mezi exteriérem a interiérem a oddělení vnitřního mikroklimatu je v tomhle místě řešeno zavěšenými plastovými lamelami na stropě průplavu, ve dvou řadách, při jeho vnitřním a vnějším lici (viz Obrázek 38, Obrázek 39).



Obrázek 38 Pohled od divoké řeky, plastové lamely na vnějším lici průplavu



Obrázek 39 Plastové lamely oddělující exteriér s interiérem

V zimním období je značný rozdíl mezi teplotou vzduchu v bazénové hale a teplotou vzduchu v exteriéru (až 45 K). Je tedy zřejmé, že dané opatření nebude dostačující a k jistému poklesu teploty v blízkosti průplavu dozajista dojde.

Naším cílem bylo zjistit kde a jak velký tento pokles je, zda-li místní podmínky odpovídají daným požadavkům na vnitřní prostředí dle platných právních předpisů a jak by se tato situace dala řešit, aby bylo dosaženo dostatečného komfortu a tepelné pohody návštěvníků.

## C.2 Šetření kritického místa v okolí průplavu

První místní šetření proběhlo dne 24.1.2018 a v rámci něj byly proměřeny zejména hodnoty rychlosti proudění vzduchu a teploty vzduchu v kritické oblasti rekreačního bazénu, zejména bezprostřední blízkosti průplavu

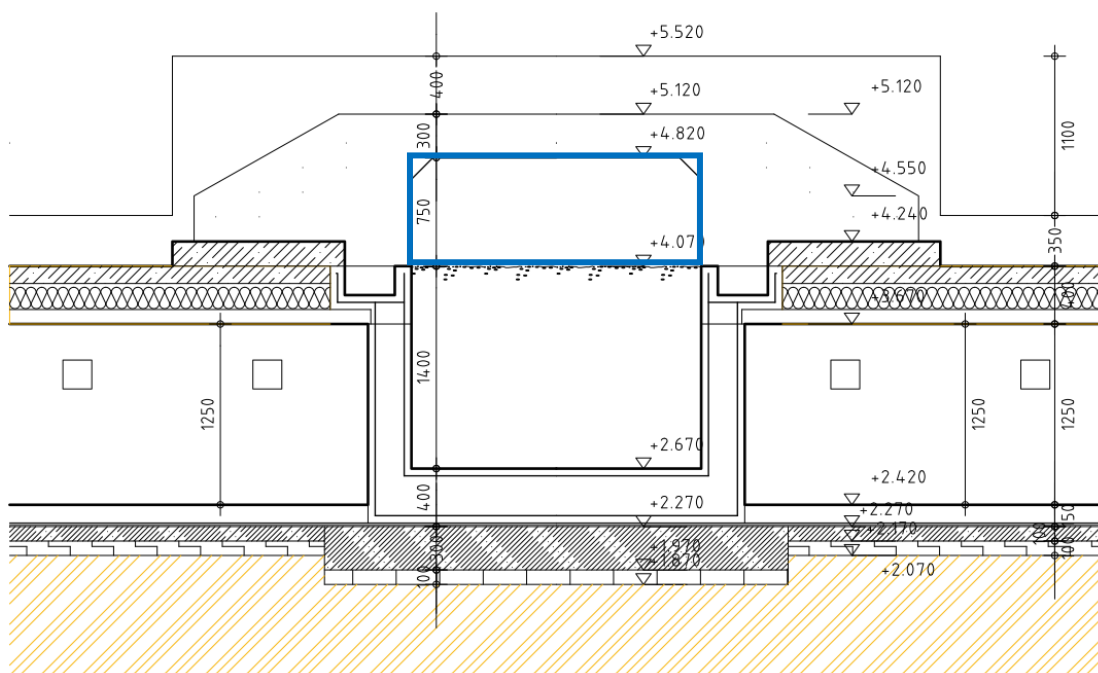


Obrázek 40 Měření teploty a rychlosti proudění vzduchu v průplavu

Měření vzduchu v interiéru po průřezu průplavu bylo provedeno přibližně na úrovni vnitřního líce stěny mostku, překlenující průplav. Ve zvolené síti bodů (viz Obrázek 42) byly měřeny teploty a anemometrem rychlosti proudění vzduchu. Z naměřených hodnot byl dále sestaven přibližný teplotní (Obrázek 43) a rychlostní (Obrázek 44) profil vzdušného prostoru průplavu. Červená barva odpovídá vysokým hodnotám teplot (resp. rychlostí), modrá naopak nízkým.

Tyto vizualizace ukazují na nestejnoroelé rozložení teplot vzduchu v průřezu, je vidět že výrazně chladnější je oblast při levé straně průplavu. Místo s nejnižší teplotou je levý horní roh, z důvodu nedokonalé instalace lamel, kde krajní lamela nedoléhá ke stěně a tímto místem neustále proudí studený vzduch. Tuto skutečnost potvrzuje i pozorování vyšších rychlostí proudění vzduchu v těchto oblastech se sníženou teplotou.

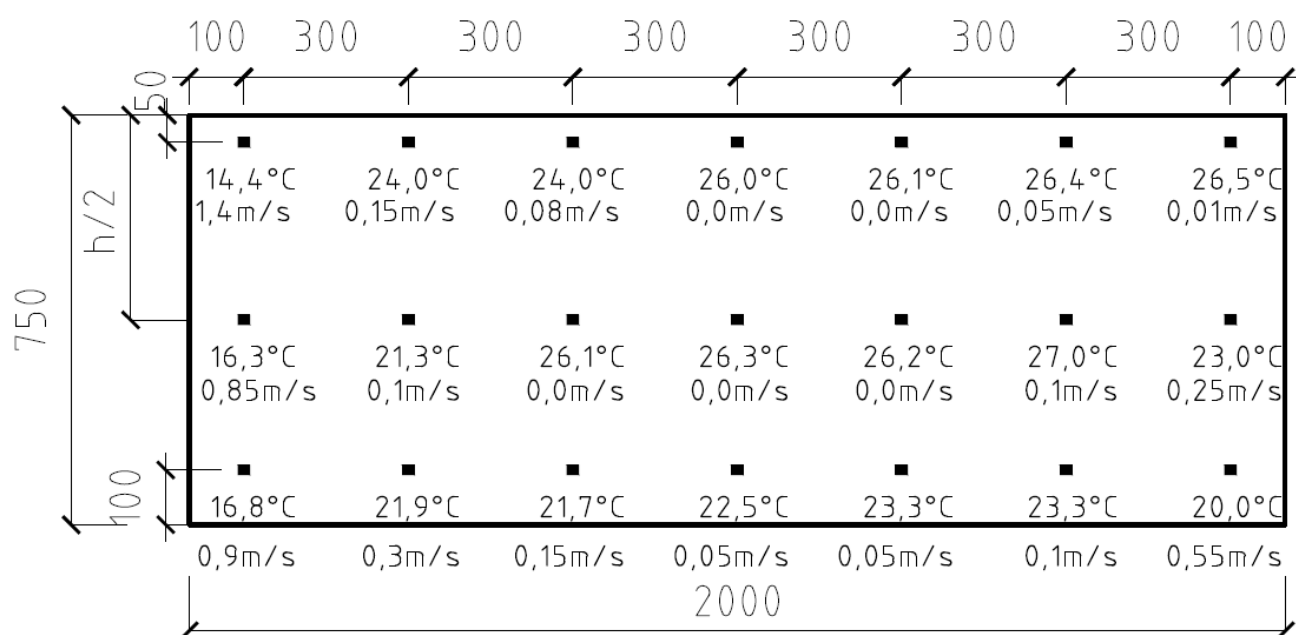




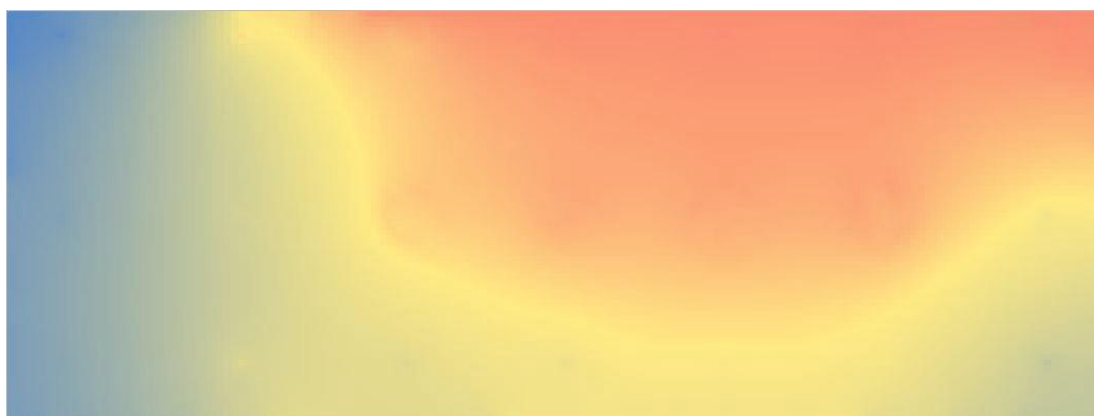
Obrázek 41 Řez průplavem

Průměrná rychlost proudění vzduchu napříč celou plochou průřezu je přibližně 0,24 m/s. Tomu odpovídá průtok venkovního vzduchu průřezem do interiéru 1300 m<sup>3</sup>/h. Jedná se tedy o velice významnou tepelnou ztrátu větráním (při rozdílu teplot 35K přibližně 13kW). Ztráta bude rozdílná vlivem odlišných podmínek provozních a vlivem rozdílných teplotních a povětrnostních podmínek exteriéru, nicméně se v zimním období bude jistě jednat o nezanedbatelné číslo. Vzhledem k téměř nulovému tepelnému odporu plastových lamel se dá počítat i s jistou tepelnou ztrátou prostupem.

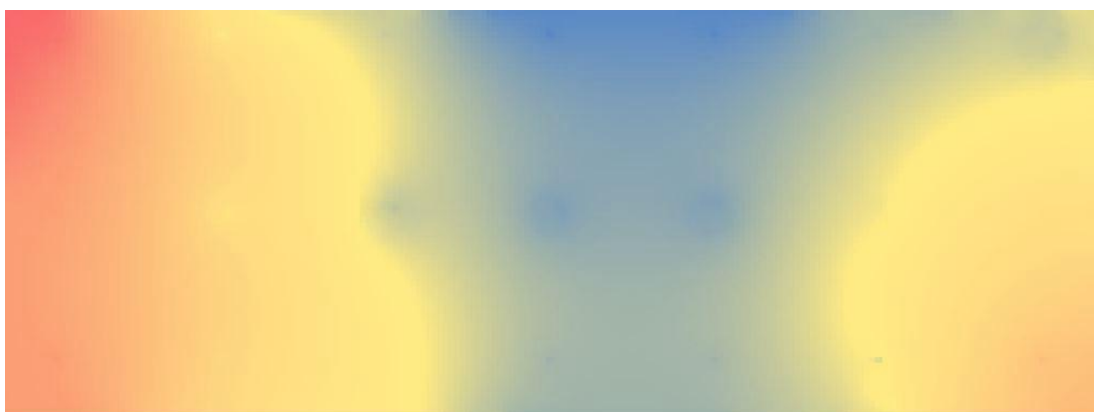
### C.2.1 Teplotní a rychlostní profil vzduchu v průřezu průplavu



Obrázek 42 Naměřené hodnoty v průplavu



Obrázek 44 Průběh teplot v průplavu

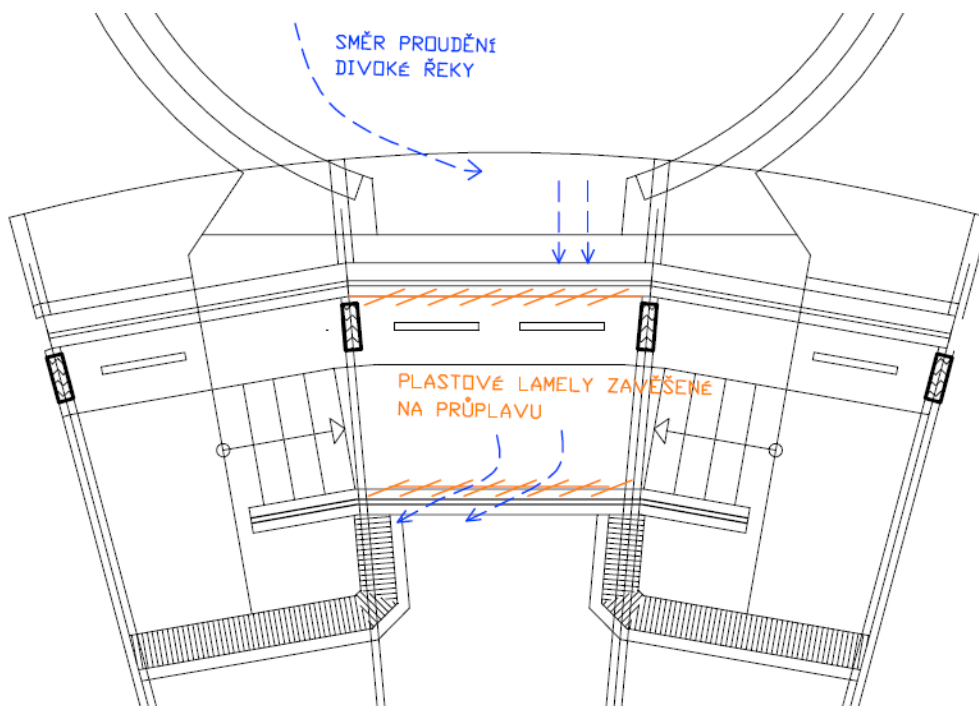


Obrázek 43 Průběh rychlostí v průplavu

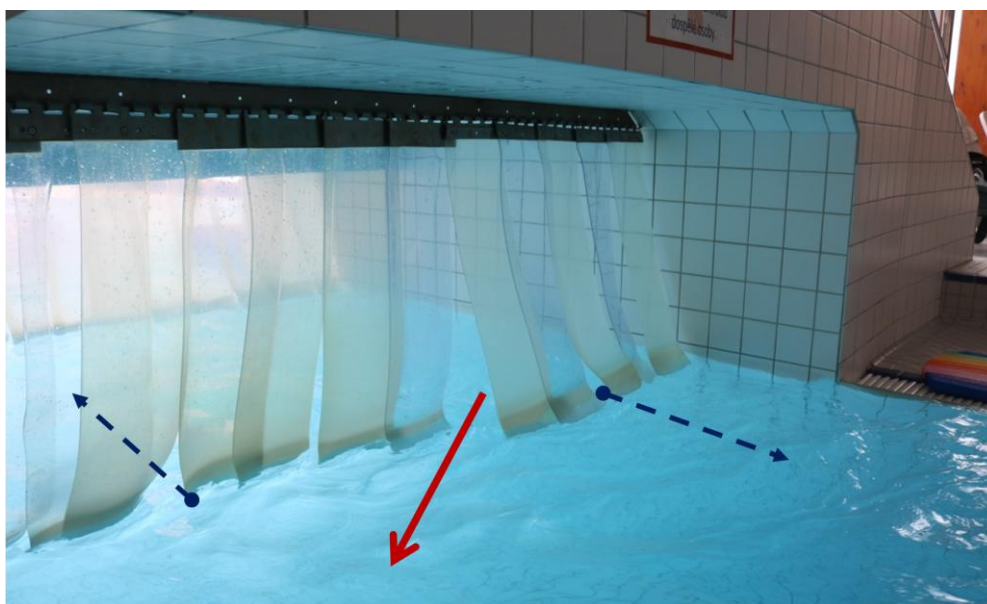
### C.2.2 Proudění vody divoké řeky, otevírání lamel v průplavu

V době provozu atrakce divoké řeky, kdy je v kruhovém bazénu pomocí trysek vytvářen velký proud vody, vznikají vlivem narážející vody na stěnu průplavu víry, které následně otevírají plastové lamely (viz Obrázek 46) . Ty totiž přesahují lehce pod úroveň hladiny vody v bazénu a tak jsou unášeny proudem. Jejich otevírání, a tím pádem i způsobení vniku chladného vzduchu do interiéru, je tedy výrazněji ovlivněno provozem divoké řeky, než povětrnostními podmínkami.

Lamely v obou řadách jsou přes sebe kladeny v jednom směru, tudíž chladný vzduch vniká do interiéru ve směru jejich rozevření viz Obrázek 46 a Obrázek 45. Jejich aktuální stav a způsob zavěšení také napomáhá neustálému vniku vzduchu značnými netěsnostmi.



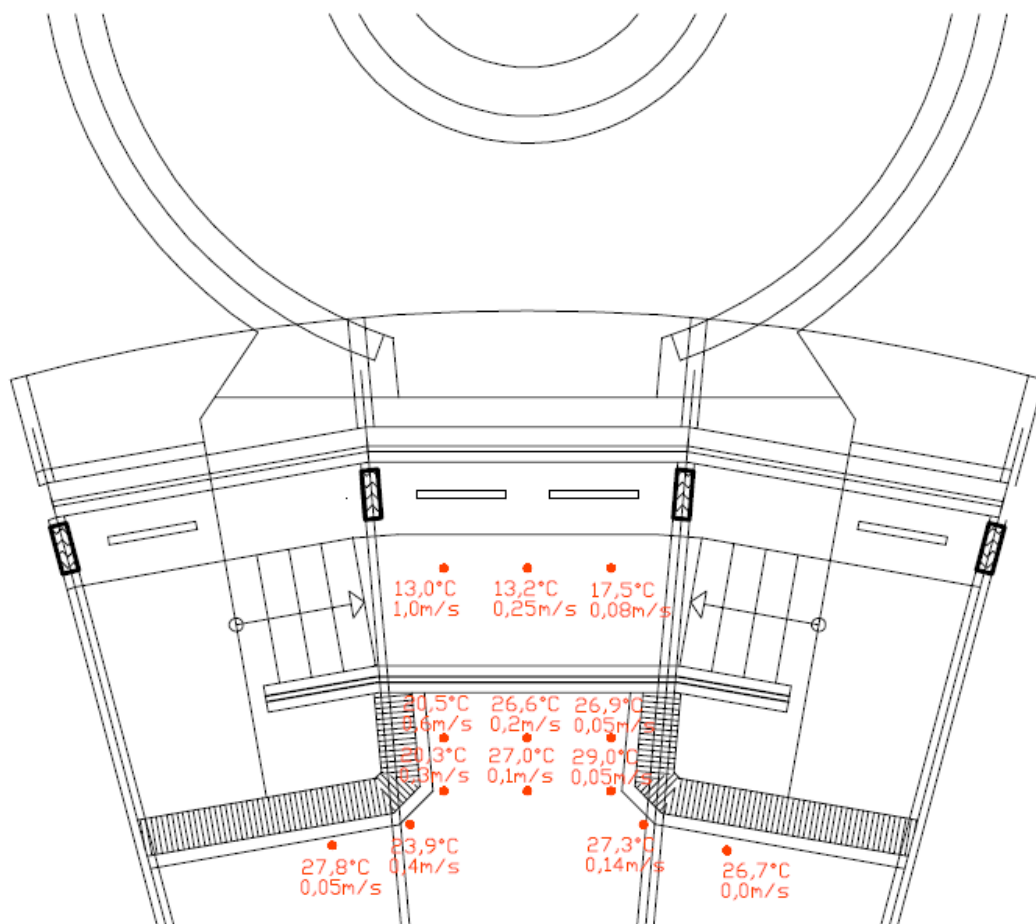
Obrázek 46 Směr proudění vody v divoké řece a průplavu



Obrázek 45 Proud vody z divoké řeky otvírá lamely v jednom směru

### C.2.3 Teplotní mikroklima v rekreačním bazénu

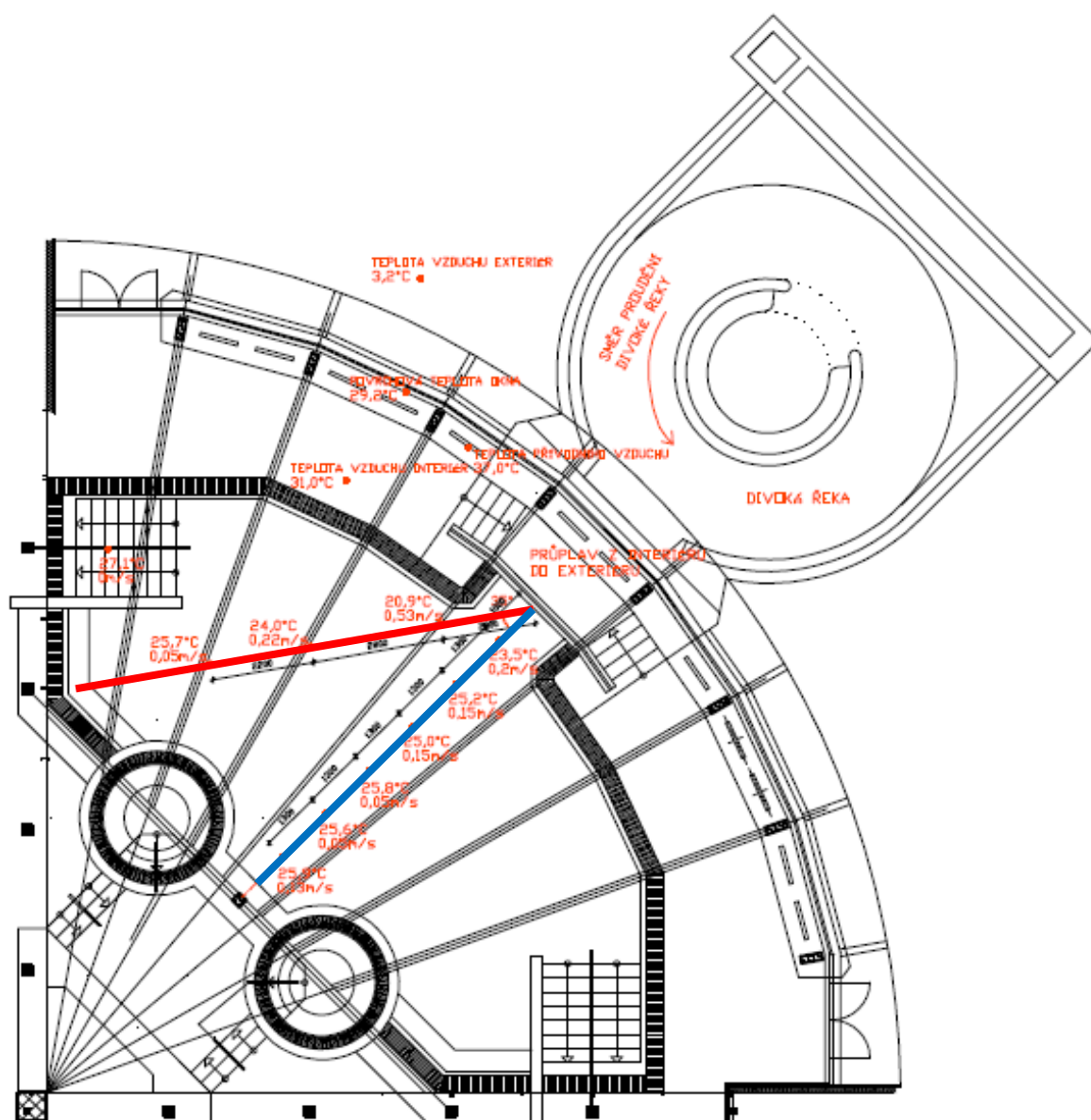
Výše zmíněná hypotéza byla potvrzena následným měřením odlehlejších míst v širším okolí průplavu. Na Obrázek 47 jsou znázorněny měřené body, kde si rovněž můžeme všimnout ochlazenějších prostor na levé straně v širším okolí průplavu.



Obrázek 47 Naměřené hodnoty v rekreačním bazénu v okolí průplavu

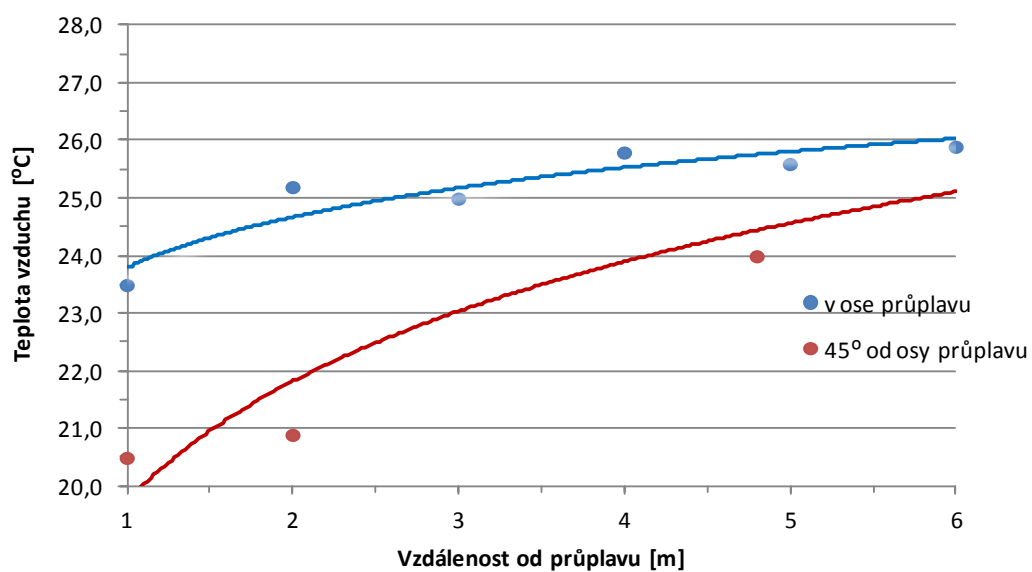
Proto byly následně proměřeny hodnoty ve směru proudění venkovního vzduchu pro zjištění nárůstu teploty se zvyšující se vzdáleností od průplavu (viz Obrázek 48, červeně). Rovněž můžeme pozorovat jistou korelaci mezi průběhem teplot a rychlosti proudění vzduchu. Pro srovnání byla změřena i pomyslná osa průplavu až k protějšímu břehu rekreačního bazénu (modře).



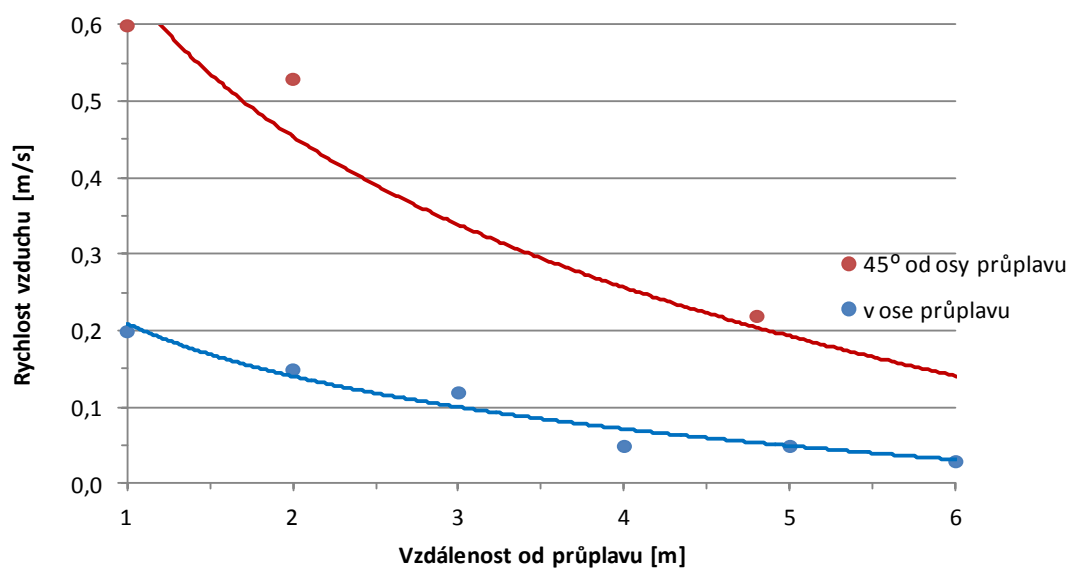


Obrázek 48 Naměřené hodnoty v rekreačním bazéně a okolí

Z grafů průběhu teploty a rychlosti se vzdáleností vidíme, že rozdíl teplot ve vzdálenosti 1 metr od hrany průplavu je stále 4 K. Teploty (obdobně tak i rychlosti) se dostávají na podobné hodnoty až ve vzdálenosti větší než šest metrů od průplavu.



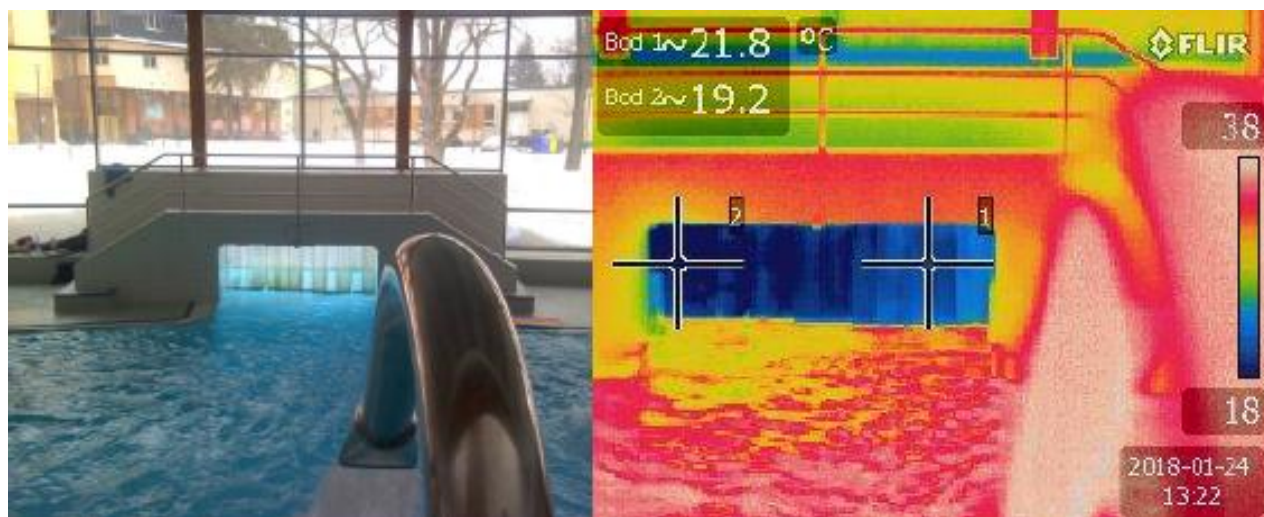
Graf 4 Nárůst teploty se vzdáleností od průplavu  
(v ose průplavu a ve směru proudění vzduchu z průplavů - 45° od osy průplavu)



Graf 5 Pokles rychlosti se vzdáleností od průplavu  
(v ose průplavu a ve směru proudění vzduchu z průplavů - 45° od osy průplavu)

### C.2.4 Termovizní měření

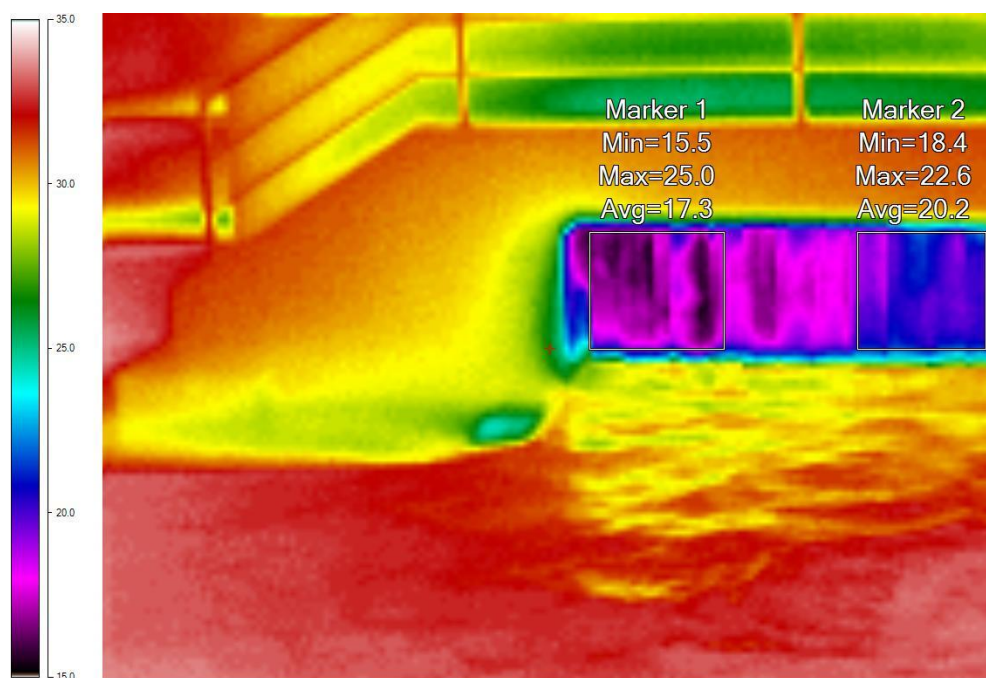
Dále bylo provedeno termovizní měření povrchových teplot kritických oblastí, zejména tedy průplavu a jeho blízkého okolí. Termosnímky ukazují nízkou povrchovou teplotu povrchových lamel a taktéž přilehlých stěn. Průměrná teplota celé plochy je 18°C, v nejvíce ochlazovaných místech klesá až na 11°C. Krom vyšších rychlostí proudění vzduchu a nižší teploty, se navíc sáláním studených ploch na návštěvníky bazénu pohybující se v okolí průplavu ochlazovací účinek, a tedy i pocit tepelného diskomfortu, umocňuje.



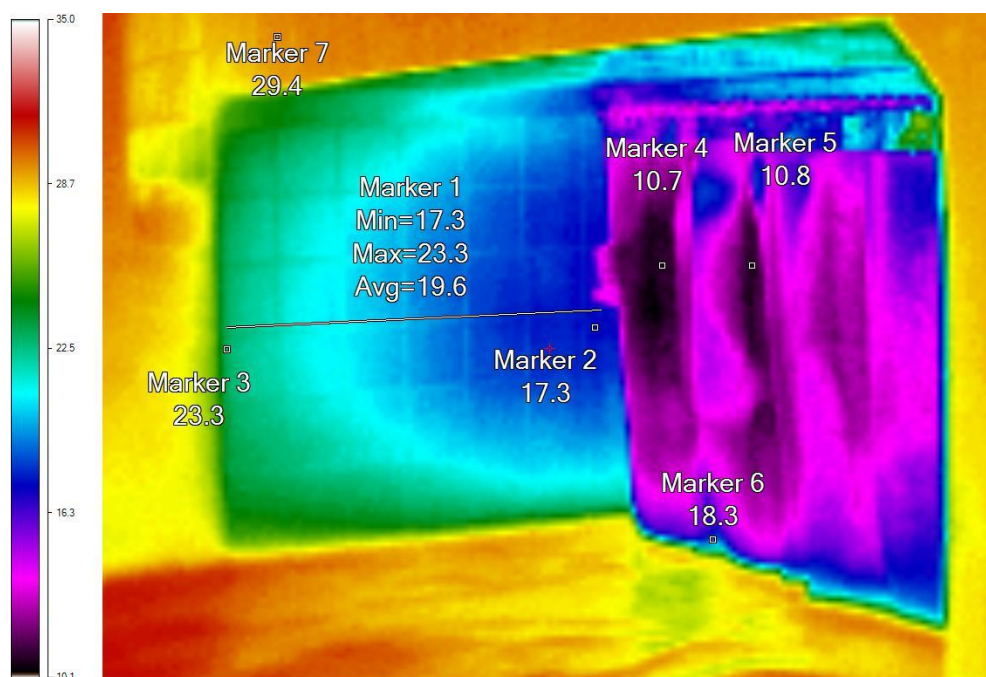
Obrázek 49 Termovizní snímek povrchové teploty, průplav z interiéru



Obrázek 50 Termovizní snímek povrchové teploty, průplav z exteriéru



Obrázek 51 Termovizní snímek – pohled na levou část průplavu a chladnější hladinu vody v této části; povrchová teplota lamel vlevo průměrně o 3 K nižší



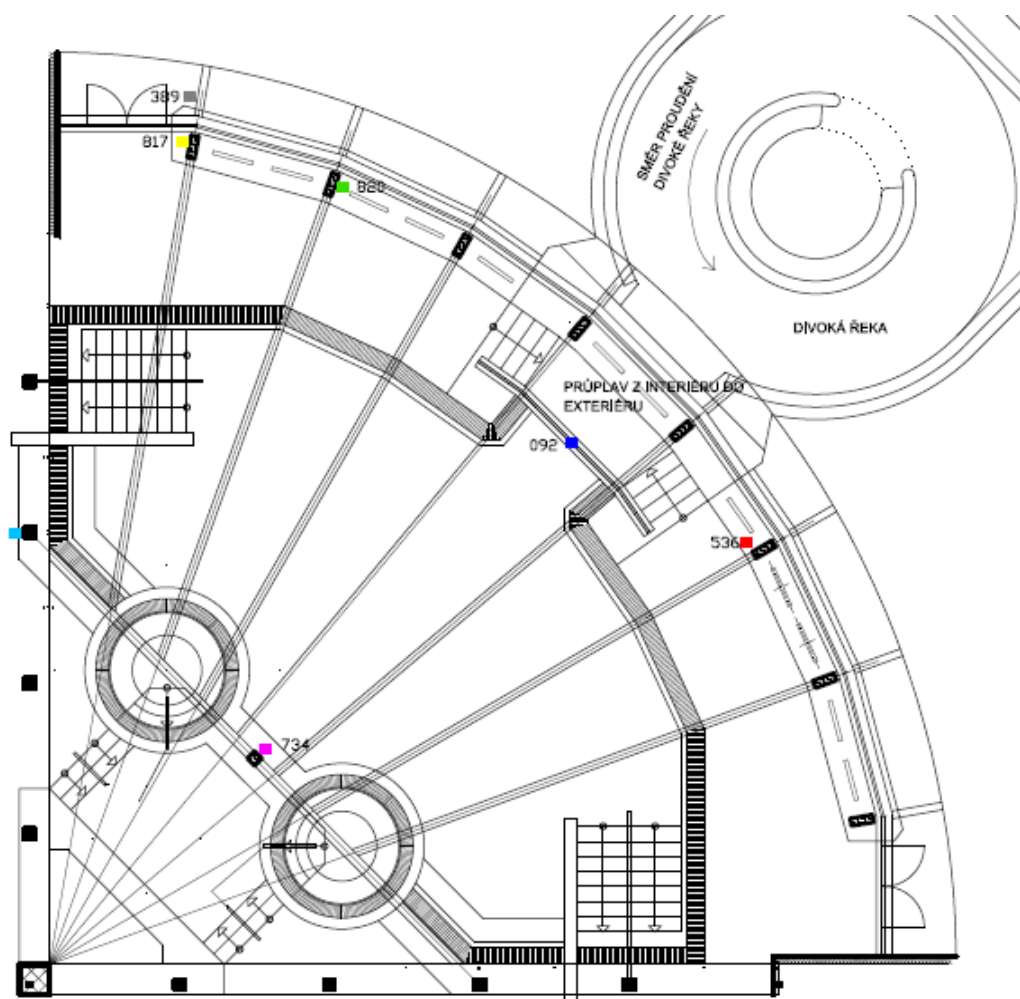
Obrázek 52 Termovizní snímek – pohled na levou část průplavu, tmavší barva stěny na straně lamel ukazuje na ochlazování stěny proudem venkovního vzduchu



## C.3 Dlouhodobá měření

### C.3.1 Úvod

V rámci šetření byly také nainstalovány čidla s možností záznamu hodnot po delší úsek, tzv. dataloggery. Toto dlouhodobé měření probíhalo v zimním období, od 24.1. - 28.2.2018. Celkem bylo rozmístěno devět čidel zaznamenávajících teplotu vzduchu a vlhkost vzduchu v intervalu pěti minut, a jeden digitální anemometr pro měření rychlosti vzduchu přímo v průplavu. Diagnostika tepelného mikroklimatu byla značně ztížena tím, že měřicí technika instalovaná přímo v průplavu (Obrázek 54) byla důsledkem vysoké vlhkosti a příměsí pro úpravu vody zničena, tudíž nebylo možné získat žádaná data. Dlouhodobé měření tedy v konečné fázi poslouží spíše k celkové analýze teplotního mikroklimatu celé bazénové haly, než k řešení kritického prostoru. Finální rozmístění přeživších dataloggerů je vidno na Obrázek 53. Tři čidla byla umístěna v blízkosti prosklené fasády. Žlutě vyznačené u dveří s exteriérem, nepřístupné veřejnosti. Zelené na parapetu umožňující posezení návštěvníků, v blízkosti vyústky teplovzdušného vytápění, červené na konstrukci okenního rámu. Dva dataloggery byly instalovány hlouběji v interiéru bazénové haly (sv. modrá a fialová). Nad průplavem na stěně mostu bylo svěšeno poslední z nich (modrá).



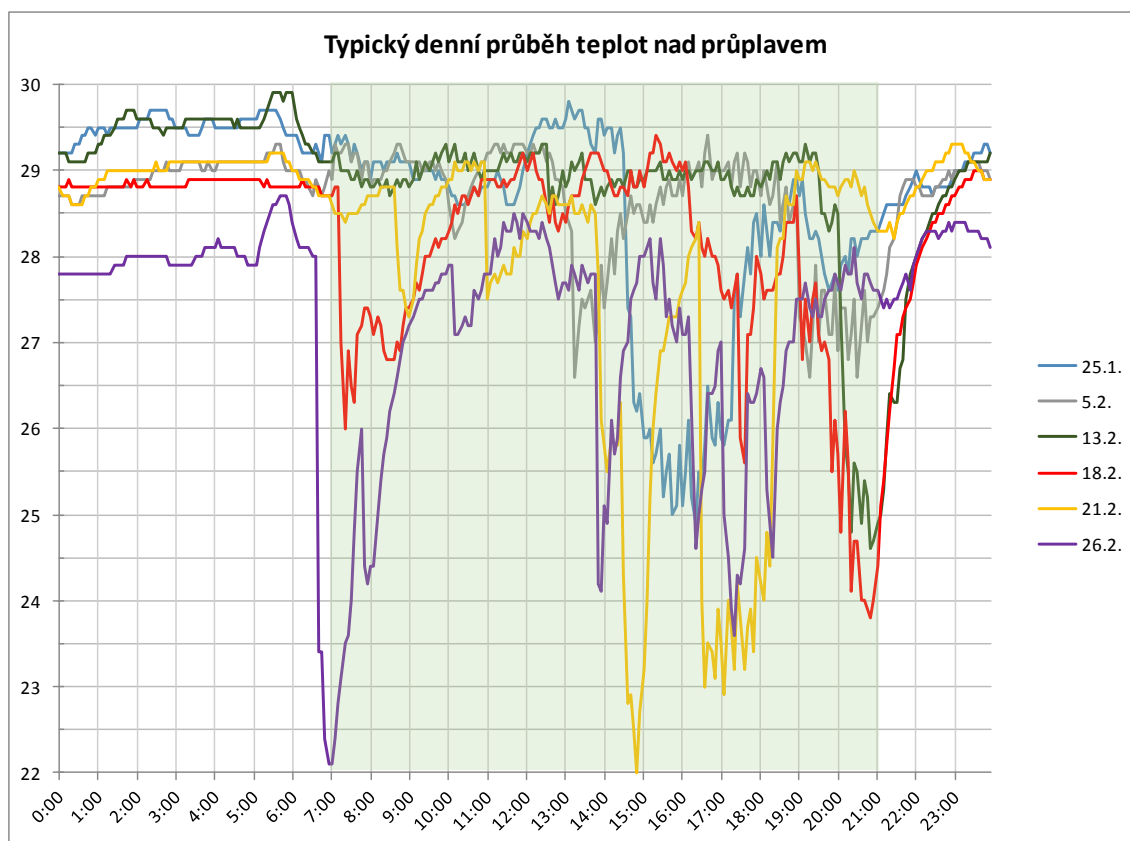
Obrázek 53 Schéma rozmístění čidel měřících teplotu a vlhkost vzduchu



Obrázek 54 Průběh instalace digitálního anemometru v průplavu, který byl v průběhu měření zničen

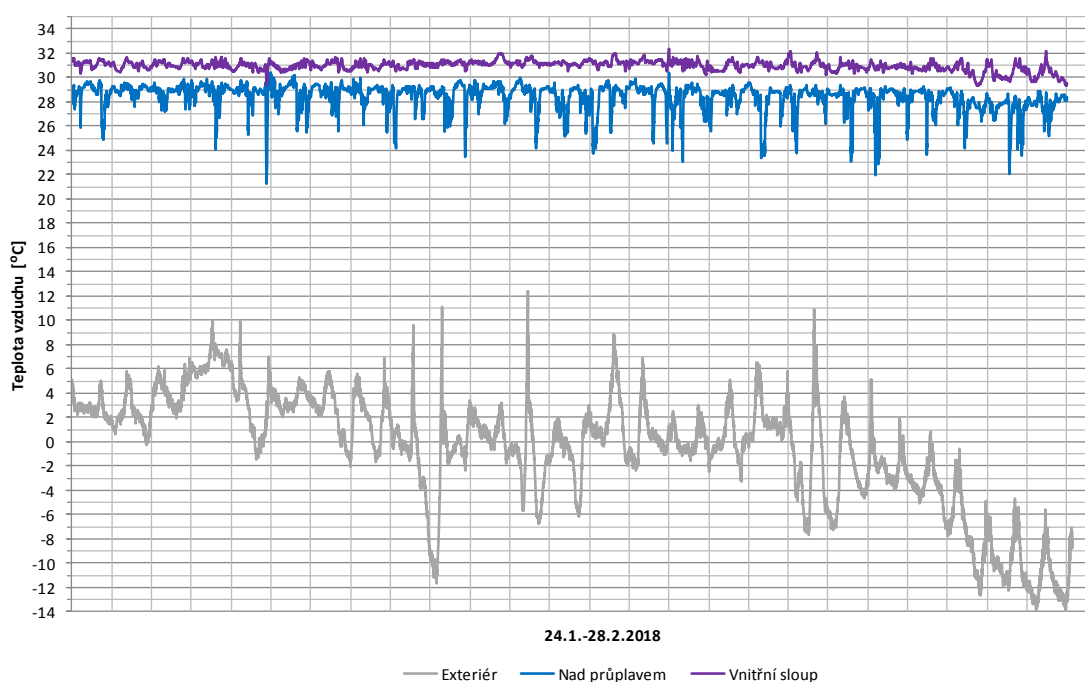
## C.3.2 Vyhodnocení dlouhodobého měření

### C.3.2.1 V okolí průplavu



Graf 6 Typický denní průběh teplot nad průplavem, podbarvena provozní doba areálu

Graf 6 znázorňuje průběh teploty vzduchu v průběhu dne zaznamenané čidlem instalovaným nad průplavem, přibližně metr nad hladinou. Byly vybrány dny reprezentující výjimečně chladné venkovní teploty a naopak dny teplé. Nehledě na teplotu okolí mají všechny dny průběh obdobný, při otevření wellness centra teplota v okolí průplavu prudce poklesne a těsně před zavírací dobou pomalu stoupá. Dá se tedy předpokládat že při spuštění venkovní rolety ke dnu tepelná ztráta rapidně klesá. Prudké výkyvy naměřených teplot mohou být nicméně i dány namočením čidla při pohybu osob v jeho blízkosti. Tedy byly zaznamenány teploty mokrého teploměru, namísto teploty vzduchu. Tento jev se objevuje v následujících grafech, nicméně při posouzení bazénové haly v h-x diagramu byl eliminován na základě vyřazení veškerých hodnot s naměřenou relativní vlhkostí vyšší než 95%.



Graf 7 Porovnání teploty vzduchu v interiéru a exteriéru za sledované období

Z grafu č. Graf 7 vyplývá, že teplota hlouběji v interiéru bazénové haly (fialová) již není ovlivňována průplavem a jeho ztrátami a drží se neustále okolo teploty 31°C, téměř zcela nezávisle na teplotě exteriéru (šedá). To může být způsobeno pokrytí těchto vysokých tepelných ztrát vysokou výměnou vzduchu (5x/h) bazénové haly vzduchotechnickým zařízením, které teplovzdušně vytápí.

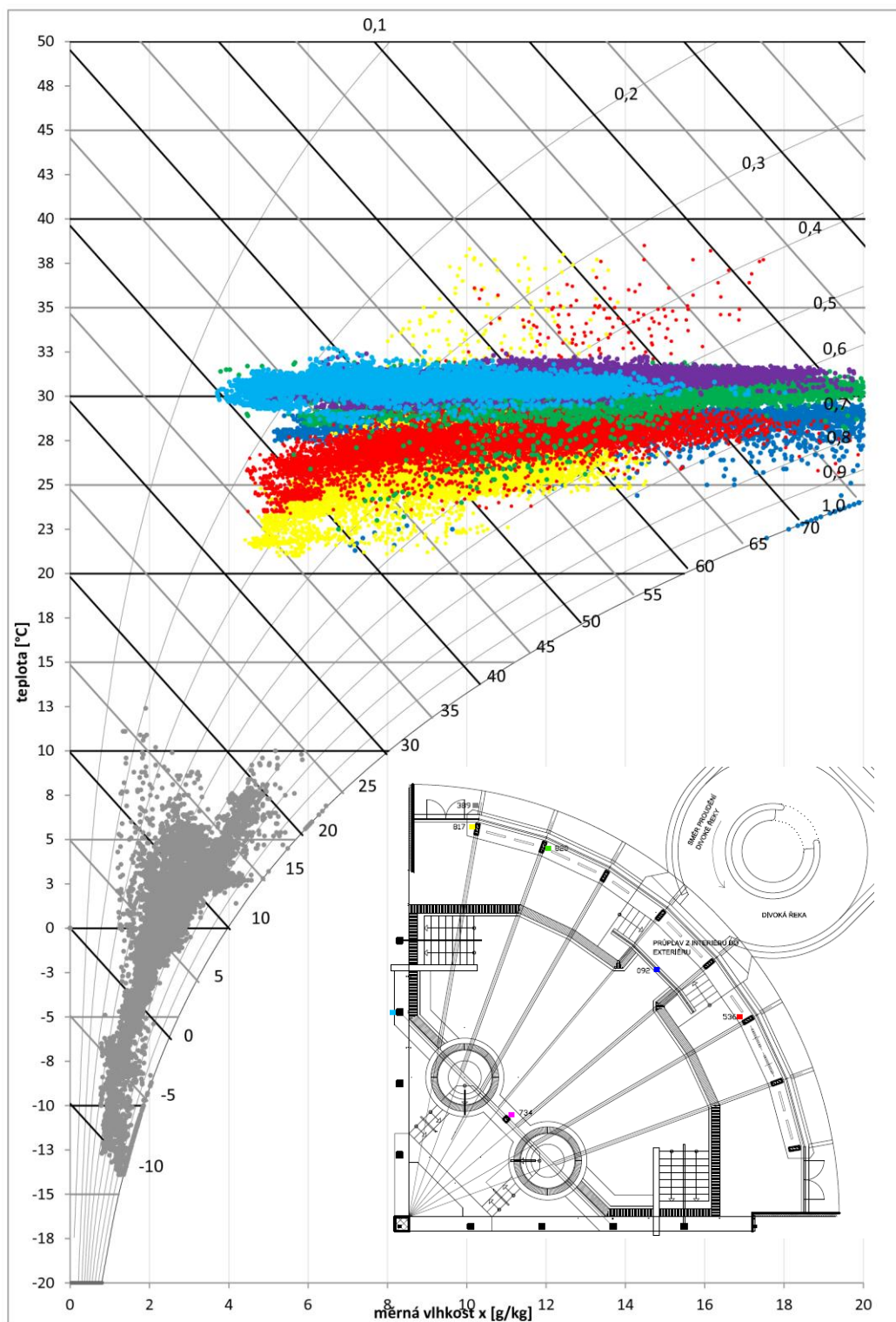
Naopak teplota vzduchu v bezprostřední vzdálenosti průplavu (modrá) se pohybuje průměrně ve výrazně nižších teplotách (cca 28-29°C) a navíc výrazně kolísá.

### **C.3.2.2 Bazénová hala**

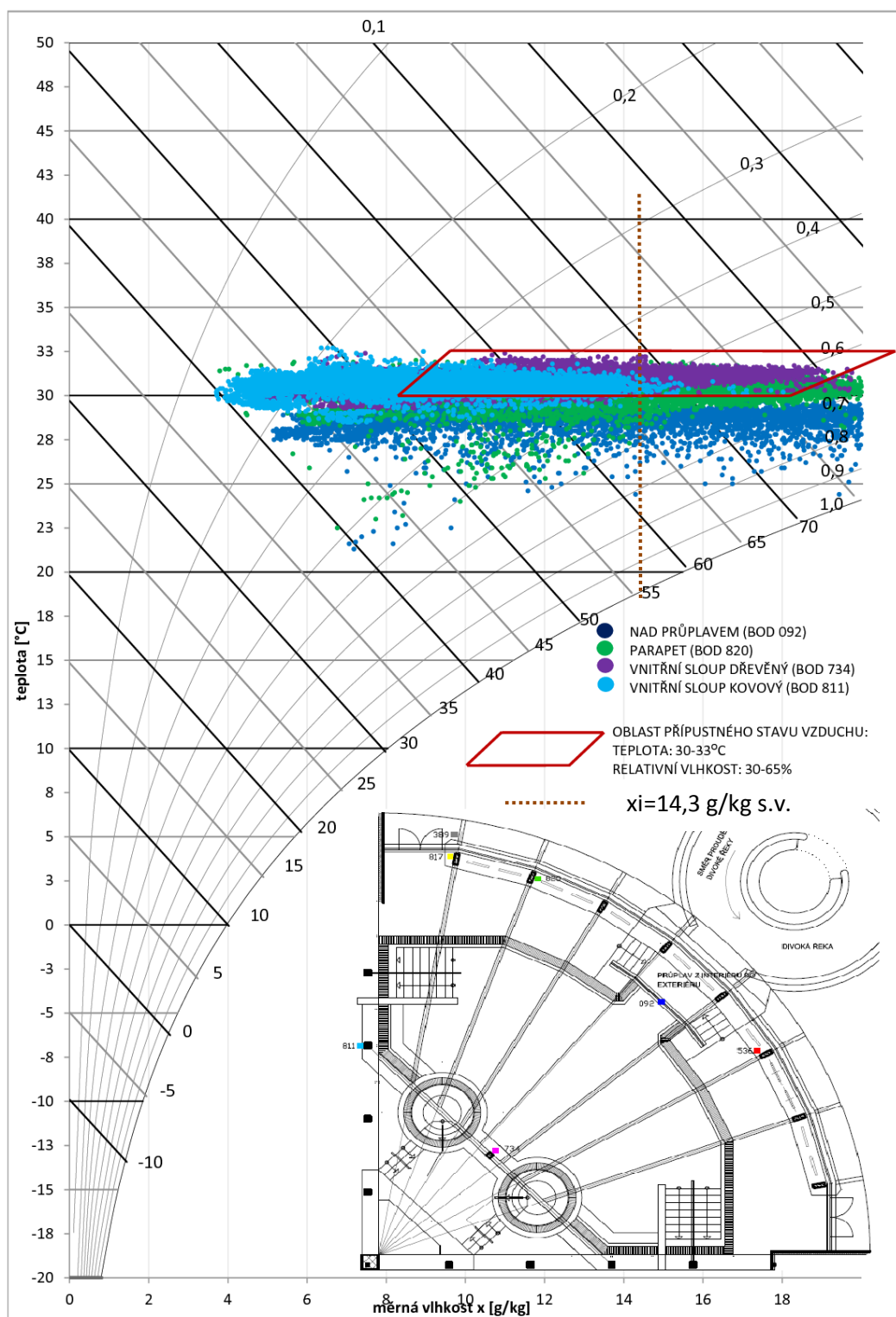
Graf č. 3 prezentuje všechny hodnoty naměřené za sledované období v závislosti teploty na měrné vlhkosti. Body vyznačeny žlutě a červeně (schéma půdorysu viz str 77) jsou dataloggery umístěné při fasádě, tudíž můžeme pozorovat nižší teploty v těchto místech, zejména pro to že se dá předpokládat jisté ztráty infiltrací v jejich okolí. Právě tyto čidla mohla být i ovlivňovány nadměrným osluněním fasády, což vysvětluje občasné zvýšené teploty.

Následně graf č. 4 prezentuje hodnoty naměřené v místech s předpokládaným častým výskytem osob během provozu koupaliště. Červeně vyznačený lichoběžník je oblast přípustných hodnot udávaných normou. Tedy teplota v rozmezí 30-33°C a relativní vlhkost do 65%. Body fialové a světle modré jsou hodnoty naměřené čidly umístěnými hlouběji uvnitř interiéru, a zde pozorujeme velkou část bodů uvnitř dané oblasti, zejména seskupující se stabilně okolo teploty 30°C. Naopak u modře vyznačených bodů (u průplavu) se teplota dlouhodobě pohybuje o 2 K níž, cca 28°C. To tedy znamená že oblast v okolí průplavu (za předpokladu teploty vody bazénu 29°C a výše zmiňovanému požadavku vyhlášky č. 238/2011 Sb., kdy teplota vzduchu musí být o 1-3°C vyšší) nevyhovuje platným předpisům.





Graf 8 Teplotně vlhkostní pole všech naměřených hodnot



Graf 9 Teplotně vlhkostní pole, posouzení vybraných bodů reprezentujících pobytový prostor v bazénové hale

## C.4 Návrh variant řešení, závěr

Jak tedy vzniklý problém, na který si návštěvníci Wellness centra Bruntál stěžují jeho provozovateli řešit?

Průplav z relaxačního bazénu do divoké řeky v exteriéru je dozajista slabým místem obálky budovy. Bazénová hala je vytápěna na cca 30°C a teplota exteriéru se v zimních měsících v Bruntále nezdíká pohybuje celodenně pod bodem mrazu. Rozdíl teplot  $\Delta t$  tak dosahuje hodnot 30-40 K. Zabránit mírnému ochlazování této kritické oblasti je tedy nesnadno dosažitelné.

V této kritické oblasti je dlouhodobě o několik kelvinů nižší teplota, s vlivem vyšších rychlostí proudění vzduchu a sáláním studených ploch na návštěvníky bazénu pohybujících se v okolí průplavu se ochlazovací účinek umocňuje.

V této situaci je třeba posoudit více vlivů a rozhodnout, zda-li menší diskomfort v bezprostřední blízkosti průplavu je snesitelnou daní za provozování takovéto atraktivní zábavy pro návštěvníky areálu.

V opačném případě by se nabízelo omezení provozu divoké řeky za mimořádně nízkých teplot venkovního vzduchu. Tedy zatažení vnější rolety po dno bazénu, jako tomu bývá mimo otevírací dobu koupaliště. Z dat získaných dlouhodobým měřením jsme ověřili že tato roleta poklesu teploty v okolí téměř zamezuje.

Za předpokladu zanechání nepřerušovaného provozu divoké řeky, lze zvážit několikera stavebně-technická opatření. Zde je ale třeba pečlivě uvážit finanční a stavební náročnost daných úprav a dosaženého výsledku.

Jedním z těchto opatření je vybudování zástěny v relaxačním bazénu v blízkosti průplavu ve směru proudění vzduchu z exteriéru. Dalším je instalace vzduchové clony nad vnitřní líc průplavu, pro zabránění vnikání chladného vzduchu do interiéru. Nicméně tato varianta může mít naopak neblahý vliv na uživatele atrakce divoké řeky z důvodu prudké změny teploty. Dále by takovéto zařízení nemuselo zcela dobře a dlouhodobě fungovat v místních podmínkách zatížených vysokou vlhkostí vzduchu.

Jako kompromisem s přihlédnutím na finanční náročnost úprav se jeví výměna stávajících plastových lamel za nové. Méně opotřebované, s vhodnější geometrií (kratší, těsně nad hladinu, neunášeny proudy vody), pečlivěji nainstalované (bez otvoru po celé výšce průplavu u stěn) a rovněž kladení v rozdílných směrech, pro zamezení vnikání veškerého chladného vzduchu jedním směrem.

Tato opatření jsou navržena pro stávající provoz bazénové haly. V případě možnosti předejití této situaci již v době návrhu stavby byl proveden návrh štěrbínové vyústky do mostní konstrukce nad průplavem (viz ). Tato vyústka bude částečně sloužit jako dveřní clona, ale eliminuje její nevýhodu vysokého rozdílu teplot tím, že přivádí vzduch o stejné nebo podobné teplotě jakou má vzduch v interiéru. Zvýšenou výtokovou rychlostí a svislým proudem po celém průřezu průplavu zamezuje proud vnikajícího vzduchu z exteriéru.

## ZÁVĚR

V teoretické části práce jsem se zabýval problematikou tvorby optimálního mikroklimatu bazénových hal. Uvedl jsem časté úskalí a zásady návrhu vzduchotechnického systému. Probral jsem požadavky dané českou vyhláškou a zhodnotil zda-li jsou tyto požadavky ke tvorbě ideálního mikroklimatu dostatečné. Upozornil jsem na význam volby návrhových podmínek, zejména na vlhkosti vzduchu v interiéru.

Dále jsem se podrobněji zaměřil na metody stanovení odparu z vodních ploch bazénů a probral závislost odparu na vlhkosti vzduchu v místnosti. Zmínil jsem odlišné možnosti řešení odvodu vlhkosti z objektu, s tím spojený potřebný průtok větracího vzduchu a návrh vzduchotechnických jednotek.

V rámci aplikace tématu na zadané budově bylo provedeno koncepční řešení vzduchotechniky v bazénové hale. Na základě výpočtů jsem navrhl dvě varianty technického řešení, ty jsem srovnal a vyhodnotil. Jednalo se o odvod vlhkostní zátěže pouze nuceným větráním a odvod vlhkosti pomocí strojního odvlhčování. Tyto varianty představovaly technicky nejjednodušší a naopak nejsofistikovanější řešení. Pro vybranou variantu jsem dále vypracoval projekt na úrovni dokumentace pro stavební povolení.

Cíl experimentální části práce bylo popsat a vyhodnotit neuspokojivé podmínky vnitřního mikroklima ve Wellness centru Bruntál. Jednalo se o kritickou část bazénové haly, průplav z interiéru do exteriéru. Bylo provedeno místní šetření a dlouhodobé měření tepelně-vlhkostních podmínek v bazénové hale a v blízkosti onoho problémového místa. Na základě analýzy a zpracování výsledků byly navrženy různé možnosti řešení.

## POUŽITÉ ZDROJE

Vyhláška č. 238/2011 Sb., O stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.

Vyhláška č. 6/2003 Sb. Hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb

Předpis č. 272/2011 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

ČSN EN 15251/2011 – Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení

ČSN 73 0540 – Tepelná ochrana budov

ČSN 01 3454 – Technické výkresy – Instalace – Vzduchotechnika, klimatizace

ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů

ČSN EN 12 831 – Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu

ČSN 73 0808 – Požární bezpečnost budov

VDI 2089 – Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern, Dusseldorf: Verein, Deutscher Ingenieure e.V.,

Wellness centrum Bruntál. [Online] [Citace: 20. 4 2018.]

<http://www.wellnesscentrumbruntal.cz/>;

Projektová dokumentace WELLNES BRUNTÁL ke stavebnímu povolení. Bruntál : Ateliér DPH s.r.o., 12/2004; razítko SÚ 6/2006.

Projektová dokumentace stavby WELLNES BRUNTÁL pro výběr zhotovitele. Bruntál : Atelier DPH s.r.o., , 9/2008.

Projektová dokumentace stavby WELLNES BRUNTÁL skutečného provedení. různé : jednotliví subdodavatelé, 3/2010.

BLASINSKI, P., RUBINA, A., 2014: Distribuce vzduchu v bazénových halách - část 1. TZB-info [online]. [12.5.2016]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitrniprostredi/11319-distribuce-vzduchu-v-bazenovych-halach-cast-1>

CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol. Technický průvodce větrání a klimatizace

SCHWARZER, J., 2007: Návrh a dimenzování VZT pro bazény (1). TZB-info [online]. [12.5.2016]. <http://www.tzb-info.cz/4218-navrh-a-dimenzovani-vztpro-bazeny-i>

SZÉKYOVÁ, M., FERSTL, K. a NOVÝ, R.. Větrání a klimatizace. české vydání

HIRŠ, RUBINOVÁ, RUBINA, POČINKOVÁ: Odborné posouzení vybraných systémů  
Vzduchotechniky a vytápění Wellness centra bruntál, VUT v Brně 2011

RUBINA, A., Vybrané statě ze vzduchotechniky, Analýza proudění vzduchu v prostorách s  
vysokou vlhkostní zátěží. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav technických zařízení budov, 2010.  
Přednáška

BLASINSKI, P., Optimalizace distribuce vzduchu bazénových hal. Brno: VUT Brno, FAST,  
Ústav technických zařízení budov, 2014. Disertační práce.

Flair – podklady výrobce. [online]. Dostupné z: <http://www.flair.cz/bazenove-dvlhcovace-calorex-dh>)

CEM – podklady výrobce. [online]. Dostupné z: <http://www.cem-instruments.com>

Systemair – podklady výrobce

Remak – podklady výrobce

Teruna – program pro výpočet odparu z vodní hladiny

AeroCAD – návrhový software společnosti Remak

Místní šetření 24. 1. 2018

Místní šetření dne 28. 2. 2018

Dlouhodobé měření 24.1.-28.2.2018

# SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

## *Obrázky*

Obrázek 1 Vznik trichloraminu .....	19
Obrázek 2 Ideální distribuce vzduchu v bazénové hale, dle Ing. Blasinkého .....	19
Obrázek 3 Větrací jednotka Atrea Duplex RDH5 .....	20
Obrázek 4 Princip funkce odvlhčovače .....	21
Obrázek 5 Vzduchotechnická jednotka včetně strojního odvlhčování .....	22
Obrázek 6 Datalogger pro záznam teploty a vlhkosti vzduchu Comet S3120 .....	23
Obrázek 7 Lopatkový anemometr - USB Datalogger CEM DT-186 pro měření průtoku vzduchu .....	23
Obrázek 8 USB Datalogger pro měření teploty a vlhkosti vzduchu CEM DT-171T .....	23
Obrázek 9 Soustava žárový anemomet s měřicí ústřednou ALMEMO 2590 .....	24
Obrázek 10 Soustava teplotní čidlo dotykové s měřicí ústřednou Ahlborn Therm 2420 .....	24
Obrázek 11 Termokamera FLIR E50 .....	25
Obrázek 12 Funkční celky 1NP .....	27
Obrázek 13 Funkční celky 2NP .....	28
Obrázek 14 Prosklené fasády bazénové haly a jejich azimuty .....	31
Obrázek 15 Detail slunolamu .....	34
Obrázek 16 Výpočet odparu pomocí softwaru Teruna .....	41
Obrázek 17 Souhrn navrženého průtoku vzduchu pro variantu č. 1 .....	43
Obrázek 18 Úpravy vzduchu v HX diagramu pro zimní provozní stav jednotky č. 1 .....	46
Obrázek 19 Axonometrický pohled na jednotku (varianta č. 1) .....	47
Obrázek 20 Souhrn navrženého průtoku vzduchu pro variantu č. 2 .....	48
Obrázek 21 Obrázek 8 Axonometrický pohled na jednotku (varianta č. 2) .....	49
Obrázek 22 Režim pro ohřev vzduchu .....	49
Obrázek 23 Komfortní režim .....	50
Obrázek 24 Odvlhčování v útlumovém režimu .....	50
Obrázek 25 Režim větrání se směřováním .....	51
Obrázek 26 Letní režim chlazení .....	51
Obrázek 29 Návrh typu štěrbin dle doporučeného průtoku .....	55
Obrázek 30 Tlaková ztráta a hladina akustického výkonu pro BS-3 .....	55
Obrázek 27 Štěrbínová výust' BS-3 s plenum boxem BX .....	55
Obrázek 28 Způsob instalace .....	55
Obrázek 31 Detail instalace štěrbinové výustky .....	56
Obrázek 33 Tlaková ztráta a hladina akustického .....	57
Obrázek 32 Tlaková ztráta a hladina akustického výkonu pro tryskový difúzor CAP-F vč. plenum boxu THOR .....	57
Obrázek 34 Tlaková ztráta a hladina akustického výkonu pro odvodní anemostat bez lamel ...	57
Obrázek 35 Řez detailu řešení výustky v mostní konstrukci .....	58
Obrázek 36 Půdorys detailu řešení výustky v mostní konstrukci .....	58
Obrázek 37 Schéma areálu Wellness centra Bruntál, červeně vyznačena kritická oblast .....	66
Obrázek 38 Pohled od divoké řeky, plastové lamely na vnějším líci průplavu .....	67
Obrázek 39 Plastové lamely oddělující exteriér s interiérem .....	67

Obrázek 40 Měření teploty a rychlosti proudění vzduchu v průplavu.....	68
Obrázek 41 Řez průplavem.....	69
Obrázek 42 Naměřené hodnoty v průplavu .....	70
Obrázek 43 Průběh rychlostí v průplavu .....	70
Obrázek 44 Průběh teplot v průplavu .....	70
Obrázek 45 Proud vody z divoké řeky otvírá lamely v jednom směru .....	71
Obrázek 46 Směr proudění vody v divoké řece a průplavu.....	71
Obrázek 47 Naměřené hodnoty v rekreačním bazénu v okolí průplavu.....	72
Obrázek 48 Naměřené hodnoty v rekreačním bazéně a okolí .....	73
Obrázek 49 Termovizní snímek povrchové teploty, průplav z interiéru .....	75
Obrázek 50 Termovizní snímek povrchové teploty, průplav z exteriéru .....	75
Obrázek 51 Termovizní snímek – pohled na levou část průplavu a chladnější hladinu vody v této části; povrchová teplota lamel vlevo průměrně o 3 K nižší.....	76
Obrázek 52 Termovizní snímek – pohled na levou část průplavu, tmavší barva stěny na straně lamel ukazuje na ochlazování stěny proudem venkovního vzduchu .....	76
Obrázek 53 Schéma rozmístění čidel měřící teplotu a vlhkost vzduchu .....	77
Obrázek 54 Průběh instalace digitálního anemometru v průplavu, který byl v průběhu měření zničen .....	78

## **Grafy**

Graf 1 Vývoj odparu z vodní hladiny při různé RH v bazénové hale .....	17
Graf 2 Závislost průtoku větracího vzduchu na relativní vlhkosti v interiéru .....	18
Graf 1 Zátěž okny radiací v průběhu dne .....	32
Graf 4 Nárůst teploty se vzdáleností od průplavu .....	74
Graf 5 Pokles rychlosti se vzdáleností od průplavu .....	74
Graf 6 Typický denní průběh teplot nad průplavem, podbarvena provozní doba areálu.....	78
Graf 7 Porovnání teploty vzduchu v interiéru a exteriéru za sledované období .....	79
Graf 8 Teplotně vlhkostní pole všech naměřených hodnot .....	81
Graf 9 Teplotně vlhkostní pole, posouzení vybraných bodů reprezentujících pobytový prostor v bazénové hale .....	82



# SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

- Výkres č. 01 – Půdorys 1NP – 8xA4 (M 1:100)
- Výkres č. 02 – Půdorys 2NP – 8xA4 (M 1:100)
- Výkres č. 03 – Strojovna vzduchotechniky – 8xA4 (M 1:50)
- Výkres č. 04 – Řezy BB CC – 4xA4 (M 1:100)
- Výkres č. 05 – Detail a řezy průplavu – 4xA4 (M 1:25)